

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки: 27.04.01 Стандартизация и метрология
Отделение школы (НОЦ): Отделение Автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы |
|---------------------------------------------------------------------------|
| Алгоритмические основы построения программных анализаторов спектра |

УДК 004.946.021:621.317.757

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------|
| 8ГМ61 | Жылысбай М. | | |

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Руководитель ВКР | Заревич А.И. | к.т.н. | | |
| Руководитель ООП | Казаков В.Ю. | к.ф.м.н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и
ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Шаповалова Н.В. | | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент | Авдеева И.И. | | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Руководитель ОАР | Леонов С.В. | к.т.н. | | |

Томск – 2018г.

Планируемые результаты обучения по направлению 27.04.01

«Стандартизация и метрология»

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) | Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Профессиональные компетенции | | |
| P1 | Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для решения комплексных задач метрологического обеспечения, контроля качества, технического регулирования и проверки соответствия с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения | Требования ФГОС (ОК-12, 13, 15, 16, 19; ПК- 17, 18, 19, 21, 22, 26). Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI |
| P2 | Выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, определять номенклатуру измеряемых и контролируемых параметров, устанавливать оптимальные нормы точности и достоверности контроля, выбирать средства измерений и контроля, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов, кроме того, уметь принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа | Требования ФГОС (ОК-5, ПК-3, 4, 8, 12, 23, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI |
| P3 | Выполнять работы в области стандартизации и сертификации: по созданию проектов стандартов, методических и нормативных материалов и технических документов, по нормоконтролю и экспертизе технической | Требования ФГОС (ОК-17, 19; ПК- 1, 6, 7, 8, 11, 14, 16, 17, 18, 21, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.5, 1.6), согласованный с |

| | | |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | документации, участвовать в проведении сертификации продукции, услуг, систем качества и систем экологического управления предприятием, участвовать в аккредитации органов по сертификации, измерительных и испытательных лабораторий | требованиями международных стандартов EURACE и FEANI |
| P4 | Выполнять работы в области контроля и управления качеством: участвовать в оперативной работе систем качества, анализировать оценку уровня брака и предлагать мероприятия по его предупреждению и устранению, участвовать в практическом освоении систем менеджмента качества | Требования ФГОС (ОК-3, 9, 15, ПК-2, 5, 11, 12, 13, 15, 21). Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI |
| P5 | Использовать базовые знания в области экономики, проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; проводит анализ затрат на обеспечение требуемого качества и деятельности подразделения, проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений | Требования ФГОС (ОК-8, 9, 18, ПК-10, 25). Критерий 5 АИОР (п.2.1, 1.3, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI |
| Универсальные компетенции | | |
| P6 | Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности | Требования ФГОС (ОК-3, 4, 5). Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI |
| P7 | Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по | Требования ФГОС (ОК-3, 18, ПК- 26). Критерий 5 АИОР |

| | | |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы | (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI |
| P8 | Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, представлять и защищать результаты инженерной деятельности | Требования ФГОС (ОК-17,19). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI |
| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) | Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон |
| P9 | Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а также различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду | Требования ФГОС (ОК-1, 13, 14, ПК-26). Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI |
| P10 | Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности | Требования ФГОС (ОК-6, 7). Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI |

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки: 27.04.01 Стандартизация и метрология
Отделение школы (НОЦ): Отделение Автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|--------------------------|
| Магистерской диссертации |
|--------------------------|

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|-------------|
| 8ГМ61 | ЖЫЛЫСБАЙ М. |

Тема работы:

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Алгоритмические основы построения программных анализаторов спектра | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | 2585/с от 13.04.2018 |

| | |
|------------------------------------------|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 19.06.2018 |
|------------------------------------------|------------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p>Объект исследования – алгоритмы, реализующие функции спектрального анализа.</p> <p>Основная задача – построение и систематизация алгоритмов, реализующих функции анализаторов спектра.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <p>Изучить принципы работы анализаторов спектра, систематизировать их функциональные возможности, а также записать алгоритмы реализации основных функций анализаторов спектра</p> |
| <p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <p>Презентация магистерской диссертации в программе Microsoft Office Power Point 2010.</p> |
| <p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p> | |
| <p>Раздел</p> | <p>Консультант</p> |
| <p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> | <p>Шаповалова Н.В., старший преподаватель</p> |
| <p>Социальная ответственность</p> | <p>Авдеева И.И., ассистент</p> |
| <p>Английский язык</p> | <p>Кузнецова И.Н., старший преподаватель</p> |
| <p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> | |
| <p>1 Основы спектрального анализа</p> | |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p> | <p>7.02.2018</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|---------------------|------------------------|---------|------|
| <p>Доцент</p> | <p>Заревич А.И.</p> | <p>к.т.н.</p> | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------------|--------------------|---------|------|
| <p>8ГМ61</p> | <p>Жылысбай М.</p> | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|-------------|
| 8ГМ61 | Жылысбай М. |

| Школа | ИШИТР | Отделение | ОАР |
|---------------------|---------|-------------|--------------------------------------|
| Уровень образования | магистр | Направление | 27.04.01 Стандартизация и метрология |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | Оклады участников проекта, нормы рабочего времени, ставки налоговых отчислений во внебюджетные фонды, районный коэффициент по г. Томску |
| 1. Нормы и нормативы расходования ресурсов | |
| 2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования | |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Оценки коммерческого и инновационного потенциала НТИ | Определение потенциальных потребителей результатов исследования, SWOT-анализ |
| 2. Разработка устава научно-технического проекта | Цели и результаты исследования, определение участников исследования |
| 3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок | План работ и этапов исследования, построение линейного графика работ, расчет бюджета проведения исследования |
| 4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности | Оценка эффективности исследования |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. График проведения и бюджет НТИ

| | |
|------------------------------------------------------|---------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 01.03.2018 г. |
|------------------------------------------------------|---------------|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|-----------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Шаповалова Н.В. | | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------|
| 8ГМ61 | Жылысбай М. | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|-------------|
| 8ГМ61 | Жылысбай М. |

| Школа | ИШИТР | Отделение | ОАР |
|---------------------|--------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Уровень образования | магистратура | Направление/специальность | 27.04.01 Стандартизация и метрология |

| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | <p>Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером.</p> <p>Объект исследования – алгоритмические основы анализатора спектра.</p> <p>Оборудование: компьютер, мебель (шкаф, стулья, столы).</p> |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). | <p>Проводится анализ выявленных вредных факторов производственной среды, таких как:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Отклонение показателей микроклимата; – Монотонность труда; – Статические физические перегрузки; – Умственное перенапряжение; – Воздействие электромагнитного и ионизирующего излучения. <p>Анализ выявленных опасных факторов производственной среды, таких как:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Статическое электричество; – Электричество; – Короткое замыкание. |
| <p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны | <p>Анализ воздействия на литосферу: образование отходов при</p> |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. | <p>утилизации компьютера, мебели, люминесцентных ламп. Утилизация люминесцентных ламп производится согласно <u>Постановлению Правительства РФ от 03.09.2010 N 681.</u></p> |
| <p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. | <p>Защита в чрезвычайных ситуациях. Возможные ЧС на объекте:</p> <ul style="list-style-type: none"> – природного характера; – техногенного характера; – биолого-социального характера; <p>Наиболее типичной ЧС для лабораторий являются пожары.</p> <ul style="list-style-type: none"> – в целях предотвращения возгорания необходимо соблюдать правила техники безопасности при работе с электрооборудованием. – для повышения устойчивости объекта к пожарам необходимо использовать огнеупорные материалы, а также ознакомить персонал с режимом работы объекта в случае возникновения ЧС. – В случае возникновения пожара спасательные формирования гражданской обороны ГО |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | должны как можно быстрее приступить к работам по спасению людей. |
| 4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны; Нормативно-техническая документация: <ul style="list-style-type: none"> – рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78; – в соответствии с СН-245-71 в помещении должен быть организован воздухообмен; – в соответствии с СН-181-70 рекомендуются следующие цвета окраски помещений: потолок - белый или светлый цветной; стены - сплошные, светло-голубые; пол - темно-серый, темно-красный или коричневый. |

| | |
|------------------------------------------------------|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 01.03.2018 |
|------------------------------------------------------|------------|

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|-----------|-----|------------------------|---------|------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----|------------------------|---------|------|

| | | | | |
|-----------|--------------|--|--|------------|
| ассистент | Авдеева И.И. | | | 01.03.2018 |
|-----------|--------------|--|--|------------|

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------------|
| 8ГМ61 | Жылысбай М. | | 01.03.2018 |

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология
Уровень образования магистратура
Отделение школы (НОЦ) Отделение Автоматизации и робототехники
Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

| | |
|------------------------------------------|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 19.06.2018 |
|------------------------------------------|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Сентябрь – декабрь 2016 г. | Знакомство с литературой по выбранной теме | |
| Декабрь 2016 г. – май 2017 г. | Проведение экспериментальных исследований | |
| Сентябрь 2016 г. – май 2017 г. | Подготовка статей, в том числе, в рецензируемых журналах, составление докладов по материалам работы | |
| Сентябрь 2017 г. – декабрь 2017 г. | Обработка полученных данных | |
| Февраль – май 2018 г. | Подготовка текста диссертации | |

| | | |
|-------------|-----------------------------------------------------------------|--|
| Май 2018 г. | Подготовка демонстрационных материалов и докладов для защиты | |
|-------------|-----------------------------------------------------------------|--|

Составил преподаватель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Заревич А.И. | к.т.н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Казаков В.Ю. | к.ф.м.н. | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 142 страницы, 37 рисунков, 60 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: анализатор спектра, быстрое преобразование Фурье, алгоритмы реализации, измерительный сигнал.

Актуальность работы заключается в анализе имеющихся источников литературы на предмет построения алгоритмических основ программно реализуемых анализаторов спектра.

Объектом исследования являются алгоритмы, реализующие функции спектрального анализа.

Цели и задачи исследования (работы) построение и систематизация алгоритмов, реализующих функции анализаторов спектра.

Работа представлена введением, 5 разделами (главами) и заключением, приведен список публикаций студента, список использованных источников.

В 1 разделе «Ознакомление с анализаторами спектра» рассмотрены основы спектрального анализа, выполнен обзор существующих типов анализаторов спектра, ознакомление с историей создания цифровых анализаторов спектра, а также составлено определение цифрового анализатора спектра, его принцип действия и классификация.

Во 2 разделе «Функциональные возможности цифровых анализаторов спектра» описаны имеющиеся функциональные возможности цифровых анализаторов спектра, задачи, которые должны реализовывать анализаторы спектра различных производителей, также произведен сравнительный анализ анализаторов спектра разных фирм–изготовителей.

В 3 разделе работы описаны имеющиеся функциональные возможности цифровых анализаторов спектра, задачи, которые должны реализовывать

анализаторы спектра различных производителей, также произведен сравнительный анализ анализаторов спектра разных фирм–изготовителей.

В 4 главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» рассмотрены следующие вопросы:

- определена структура работ в рамках научного исследования;
- проведен расчет трудоемкости выполнения работ;
- построен график проведения научного исследования;
- рассчитан бюджет научно-технического исследования (НТИ);

В 5 разделе «Социальная ответственность» рассматривается комплекс мероприятий, с помощью которых происходит минимизация негативного воздействия факторов, возникающие при работе с компьютером.

В заключении подведены итоги, а также сделаны выводы о проделанной работе.

Содержание

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение | 22 |
| 1 Спектральный анализ в электрических измерениях | 25 |
| 1.1 Основы спектрального анализа | 25 |
| 1.1.2 Ряд и интеграл Фурье | 26 |
| 1.1.3 Определения и классификация спектров | 28 |
| 1.2 Общие вопросы измерения спектра радиосигналов | 31 |
| 1.3 Классификация методов и средств спектрального анализа | 33 |
| 2 Принципы работы анализаторов спектра | 36 |
| 2.1 Анализаторы спектра последовательного типа | 36 |
| 2.2 Основные параметры анализаторов спектра последовательного типа и области их применения | 38 |
| 2.3 Параллельные анализаторы спектра | 42 |
| 2.4 Вычислительные анализаторы спектра | 44 |
| 2.5 Погрешности измерения амплитуды и частоты | 50 |
| 3 Практическая реализация функций анализатора спектра | 54 |
| 3.1 Обзор NI ELVIS | 54 |
| 3.1.1 Настольная рабочая станция NI ELVIS | 54 |
| 3.1.2 Состав виртуальных приборов NI ELVIS | 56 |
| 3.2 Анализатор спектра NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer | 57 |
| 3.2.1 Описание анализатора спектра DSA | 57 |
| 3.2.2 Алгоритм функционирования анализатора спектра NI ELVIS | |
| DSA | 61 |
| 3.3 Анализатор спектра на основе интеграла Фурье | 63 |
| 3.4 Сравнение анализатора спектра на основе интеграла Фурье и DSA | 67 |

| | | |
|-------|-----------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.1 | Описание установки | 67 |
| 3.4.2 | Ход эксперимента | 68 |
| 4 | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 81 |
| 4.1 | Потенциальные потребители результатов исследования | 81 |
| 4.2 | SWOT- анализ | 82 |
| 4.3 | Структура работ в рамках научного исследования | 85 |
| 4.3 | Определение трудоемкости выполнения работ | 86 |
| 4.4 | Составление графика проведения научного исследования | 86 |
| 4.6 | Определение бюджета научно-технического исследования | 89 |
| 4.7 | Оценка научно-технической эффективности исследования | 96 |
| 5 | Социальная ответственность | 100 |
| 5.1 | Производственная безопасность | 101 |
| 5.2 | Психофизиологические факторы | 104 |
| 5.3 | Экологическая безопасность | 104 |
| 5.4 | Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 105 |
| 5.5 | Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 107 |
| 5.5.1 | Специальные правовые нормы трудового законодательства | 107 |
| 5.5.2 | Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны | 109 |
| | Заключение | 112 |
| | Список использованных источников | 113 |
| | Приложение А | 118 |
| | Приложение Б | 134 |

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1 ГОСТ Р 8.762–2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений коэффициента гармоник.

2 ГОСТ 8.331–99 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерители коэффициента гармоник. Методы и средства поверки и калибровки.

3 ГОСТ 30804.4.7 – 2013 (IEC 61000-4 – 7:2009) Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств.

4 ГОСТ 11859-66 Анализаторы гармоник. Методы и средства поверки;

5 ГОСТ 17168-82 Фильтры электронные октавные и третьоктавные. Общие технические требования и методы испытаний.

6 ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда Общие санитарно–гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

7 ГОСТ Р 50923–96. Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

8 ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.

9 ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда Опасные и вредные производственные факторы.

10 ГОСТ Р 55102–2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования, за исключением ртутьсодержащих устройств и приборов.

11 ГОСТ Р 12.1.019–2009 Система стандартов безопасности труда
Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

Обозначения и сокращения

АС – анализатор спектра;

НИ – нелинейные искажения;

ИНИ – измерители нелинейных искажений;

ИТР – инженерно-технический работник;

ОТ – охрана труда

DSA – Dynamic Signal Analyzer

ПК – персональный компьютер

NI – National Instruments

Введение

В современном мире анализ формы электрических сигналов, то есть зависимости мгновенных значений напряжения или тока от времени, широко используется для получения информации о качестве различных устройств [1]. К сожалению, зависимость от времени в ряде случаев не обладает достаточно высокой чувствительностью к изменениям сигнала. Более чувствительной является форма спектра сигнала. Представление сигнала в частотной области как суммы гармонических составляющих с различными частотами, амплитудами и начальными фазами, необходимо также при решении проблемы электромагнитной совместимости, то есть обеспечения работы многих радиоэлектронных средств в ограниченном диапазоне частот. Использование преобразователей неэлектрических величин в электрические позволяет распространить радиотехнический спектральный анализ на области механики, акустики, медицины и других наук.

Первоначальное определение спектра основано на преобразовании Фурье. Преобразованию подвергается функция времени в целом; результат преобразования, то есть спектр, зависит только от частоты. Учет реальных условий эксперимента заставляет ввести новое понятие — понятие «текущего спектра». Текущий спектр — это результат преобразования Фурье, но с переменным верхним пределом интегрирования, которым является текущее время. Таким образом, появляется спектральная функция, зависящая не только от частоты, но и от времени — это уже некоторое промежуточное понятие, сближающее частотные и временные представления. Также существует понятие «мгновенного спектра» и связанное с ним понятие «активной полосы спектра». Таким образом, спектральные представления, претерпев изменения, возвращаются почти что к исходным позициям, однако на значительно более

высоком уровне: все основные и промежуточные понятия образуют в совокупности инструмент научного исследования [2].

Анализатор спектра используется в учебном процессе в Томском политехническом университете, в частности в учебной лабораторной по электронике, анализатор спектра входит в состав программно-аппаратного комплекса NI ELVIS. В этой программно-аппаратной среде сигнал подвергается аналого-цифровому преобразованию, записывается в память компьютера и обрабатывается на центральном процессоре виртуальными приборами, написанными в среде NI LabVIEW. Изучение функциональных возможностей этого прибора показывает, что они существенно слабее функциональных возможностей специализированных приборов. При этом, обработка сигналов персональным компьютером позволяет реализовать множество возможностей. В работе предлагается изучить алгоритмы функционирования анализаторов спектра, реализовать эти алгоритмы в вычислительной среде MatLab и проверить их функциональность в сравнении с функциональностью анализатора спектра из состава программно-аппаратной среды NI ELVIS.

Актуальность работы заключается в необходимости систематизации функций используемых анализаторов спектра и поиске алгоритмов реализации этих функций в рамках создания виртуального лабораторного прибора.

Предмет исследования – спектральные методы анализа измерительных сигналов.

Объектом исследования является – алгоритмы, реализующие функции спектрального анализа.

Целью данной работы является построение и систематизация алгоритмов, реализующих функции анализаторов спектра и их программная реализация.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- пользуясь литературными источниками изучить основы спектрального анализа измерительных сигналов;
- изучить принципы работы анализаторов спектра и систематизировать их функциональные возможности;
- записать алгоритмы реализации основных функций анализаторов спектра в среде Matlab
- выполнить сравнение результатов работы алгоритмов с анализатором спектра в составе программно-аппаратной среды NI ELVIS.

Практическая значимость работы заключается в необходимости разработки виртуального анализатора спектра, реализующего основные возможности анализаторов спектра ведущих мировых производителей.

Авторский вклад автора заключается в подборе приборов, исследовании работы анализаторов спектра разных производителей, в сравнении функциональных возможностей анализаторов спектра, а также программная реализация виртуального анализатора спектра.

Апробация результатов работы произведена путем публикации доклада на студенческой конференции «Молодежь и современные информационные технологии» [31].

При выполнении работы использовалось нижеследующее оборудование, инструменты и программное обеспечение:

- персональный компьютер с операционной системой Microsoft Windows 7;
- офисное программное обеспечение MS Office (Visio, Word);
- программный пакет Matlab;
- программно-аппаратная платформа NI Elvis;
- литературный анализ научной литературы по теме.

1 Спектральный анализ в электрических измерениях

В настоящем разделе рассмотрены основы спектрального анализа, выполнен обзор существующих типов анализаторов спектра, проведено ознакомление с историей развития анализаторов спектра, а также составлено определение цифрового анализатора спектра, его принцип действия и классификация.

1.1 Основы спектрального анализа

Определение спектра основывается на преобразовании Фурье; интегрирование по времени выполняется в бесконечных пределах. Следует вывод, что преобразованию подвергается функция времени в целом; результат преобразования, то есть спектр, зависит только от частоты. Однако в реальных условиях эксперимента существует понятие «текущего спектра». Текущий спектр – это результат преобразования Фурье, но с переменным верхним пределом интегрирования, которым является текущее время. Таким образом, появляется спектральная функция, зависящая не только от частоты, но и от времени.

Практическое применение спектральных представлений приводит к необходимости экспериментального разложения Фурье, то есть к гармоническому анализу различных явлений. Хотя существует огромное число методов анализа и применяющих эти методы приборов-анализаторов, до сих пор многие основные вопросы анализа оставались недостаточно разработанными, а подчас и не вполне ясными. В частности, основные требования к анализу как к измерительному процессу и к анализатору как измерительному прибору зачастую вовсе не ставились и не обсуждались.

1.1.2 Ряд и интеграл Фурье

Определение периодической функции:

$$f(t) = f(t + nT), \quad (1.1)$$

где T – постоянная величина, называемая периодом, n – любое целое число, положительное или отрицательное.

Определение (1.1) выражает основное свойство периодической функции, состоящее в том, что ход явления периодически повторяется и что периодичность эта существует вечно, то есть для всех времен от $-\infty$ до $+\infty$.

Из этого сразу можно заключить, что периодических явлений в строгом смысле определения (1.1) в действительности нет и быть не может.

Периодическая функция с несущественными математическими ограничениями может быть представлена рядом функций:

$$f(t) = c_0 + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos(2\pi k \frac{t}{T} - \varphi_k). \quad (1.2)$$

Периодическая функция $f(t)$ представлена суммой слагаемых вида:

$$c_k \cos(2\pi k \frac{t}{T} - \varphi_k).$$

Выражение (1.2) может быть переписано в другой форме:

$$f(t) = c_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos 2\pi k \frac{t}{T} - b_k \sin 2\pi k \frac{t}{T}), \quad (1.3)$$

где

$$a_k = c_k \cos \varphi_k, \quad b_k = c_k \sin \varphi_k,$$

так что

$$c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}, \quad \operatorname{tg} \varphi_k = \frac{b_k}{a_k}.$$

Коэффициенты a_k и b_k определяются по формулам:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cos 2\pi k \frac{t}{T} dt, \quad (1.4)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \sin 2\pi k \frac{t}{T} dt. \quad (1.5)$$

Ряд Фурье может быть также записан в комплексной форме следующим образом:

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k e^{j2\pi k \frac{t}{T}}, \quad (1.6)$$

где

$$2C_k = c_k e^{-j\varphi_k} = a_k - jb_k; \quad c_k = 2|C_k|; \quad c_0 = C_0.$$

Величина $2C_k$ - это комплексная амплитуда; C_k находится по формуле:

$$C_k = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) e^{-j2\pi k \frac{t}{T}} dt. \quad (1.7)$$

Ряд Фурье дает разложение периодической функции по тригонометрическим функциям. Это разложение может быть обобщено и на случай непериодической функции. Разложение Фурье получают путем предельного перехода при $T \rightarrow \infty$. Непериодическую функцию можно рассматривать как предельный случай периодической функции при неограниченно возрастающем периоде [2]. Возьмем формулу (1.6) и подставим в нее значение C_k из (1.7)

$$f(t) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} e^{j2\pi k \frac{t}{T}} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) e^{-j2\pi k \frac{t}{T}} dt. \quad (1.8)$$

Откуда следует

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (1.9)$$

где

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (1.10)$$

Формулы (1.8) и (1.9) являются основными формулами теории спектров. Они представляют собой пару преобразований Фурье, связывающих между

собой две функции: вещественную функцию времени $f(t)$ и комплексную функцию частоты $S(\omega)$. Формула (1.8) представляет собой интеграл Фурье в комплексной форме. Смысл этой формулы состоит в том, что функция $f(t)$ представлена суммой синусоидальных составляющих. Но функция $f(t)$ непериодическая; поэтому она может быть представлена только суммой бесконечно большого числа бесконечно малых, колебаний бесконечно близких по частоте. Комплексная амплитуда каждого отдельного колебания бесконечно мала, она равна:

$$dC = \frac{1}{\pi} S(\omega) d\omega. \quad (1.11)$$

Если ряд Фурье представляет периодическую функцию суммой бесконечного числа синусоид, но с частотами, имеющими определенные дискретные значения, то интеграл Фурье представляет непериодическую функцию суммой синусоид с непрерывной последовательностью частот. В составе непериодической функции имеются все частоты [2].

Одна из особенностей, отличающих интеграл Фурье от ряда Фурье, состоит в том, что ряд Фурье представляет периодическую функцию как сумму периодических составляющих, тогда как интеграл Фурье представляет непериодическую функцию суммой периодических составляющих. Таким образом, в случае интеграла Фурье сумма не обладает существенным свойством своих слагаемых, это обстоятельство необходимо иметь в виду при рассуждениях общего характера о спектральном разложении по Фурье.

1.1.3 Определения и классификация спектров

Перепишем формулу (1.2) ее в виде

$$f(t) = c_0 + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos(k\omega_1 t - \varphi_k), \quad (1.13)$$

где $\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$ — основная частота.

Сложная периодическая функция $f(t)$ вполне определяется совокупностью величин c_k и φ_k . Совокупность величин c_k носит название спектра амплитуд. Совокупность величин φ_k называется спектром фаз. Для многих применений достаточно знать спектр амплитуд; он применяется настолько часто, что когда говорят просто спектр, то подразумевают обычно именно амплитудный спектр.

Спектр периодической функции можно изобразить графически. Выберем для этого координаты c_k и $\omega = k\omega_1$. Спектр будет изображен в этой системе координат совокупностью дискретных точек, так как каждому значению $k\omega_1$, соответствует одно определенное c_k . График, состоящий из отдельных точек, неудобен. Поэтому принято изображать амплитуды отдельных гармоник вертикальными отрезками соответствующей длины. В результате спектр периодической функции принимает вид, показанный на рисунке 1.1.

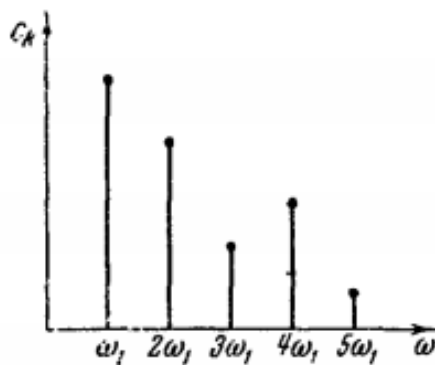


Рисунок 1.1 – Дискретный спектр периодической функции

Дискретный спектр также называют линейчатым. Второе свойство спектра, изображенного на рисунке 1.1, состоит в том, что этот спектр — гармонический. Это значит, что он состоит из равноотстоящих спектральных линий; частоты гармоник находящихся в простых кратных соотношениях.

Конечно, отдельные гармоники, иногда даже первая, могут отсутствовать, то есть амплитуды их могут равняться нулю; это, однако, не нарушает гармоничности спектра. Не следует думать, что только периодическая функция обладает дискретным спектром. Предположим, например, что сложное колебание является результатом сложения двух синусоидальных колебаний с несоизмеримыми частотами, например, ω_1 и $\sqrt{2}\omega_1$. Это колебание заведомо непериодическое, однако спектр его дискретен и состоит из двух спектральных линий [2].

Дискретные, или линейчатые спектры могут принадлежать как периодическим, так и непериодическим функциям. В первом случае линейчатый спектр обязательно гармонический. Большое практическое значение имеет случай почти-периодической функции, представляемой разложением вида:

$$f(t) = \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos[(\omega_0 + k\omega_1)t - \varphi_k]. \quad (1.14)$$

Подынтегральная функция выражает отдельное, бесконечно малое слагаемое, то есть колебание с бесконечно малой амплитудой dC :

$$\frac{1}{\pi} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega = dC e^{j\omega t}. \quad (1.15)$$

Отсюда находим:

$$S(\omega) = \pi \frac{dC}{d\omega}. \quad (1.16)$$

Таким образом, величина $S(\omega)$ выражает спектральную плотность. Но обычно эту деталь опускают и называют $S(\omega)$ комплексным спектром непериодической функции, а абсолютное значение (модуль) этой величины просто спектром.

$$\Psi(\omega) = |S(\omega)|. \quad (1.17)$$

1.2 Общие вопросы измерения спектра радиосигналов

Наблюдение формы сигнала не всегда позволяет получить полную информацию о нем. Так, осциллограмма ЧМ–радиосигнала с небольшой девиацией частоты на вид мало отличается от осциллограммы гармонического сигнала. Малые искажения формы синусоидального колебания соответствуют наличию в составе сигнала дополнительных гармонических составляющих. Они маскируются большой гармоникой несущей частоты и могут быть выделены только с использованием спектрального анализа.

По этой причине анализ спектральных характеристик радиосигналов часто более информативен и позволяет достаточно точно измерить такие параметры радиосигнала, как мощность, частоту, коэффициент модуляции и прочее [6].

Далее представлены наиболее распространенные спектральные характеристики радиосигнала. Для одиночного сигнала $u(t)$ в частотной области используют спектральную функцию (или спектральную плотность, В/Гц), определяемую прямым преобразованием Фурье:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{-i2\pi ft} dt. \quad (1.18)$$

Эта функция комплексная и представляет собой распределение амплитуд и фаз гармонических составляющих по частотной оси. Спектральная функция – это функционал уже закончившегося процесса (интеграл берется до «бесконечного» времени) [4]. В реальных условиях измерить можно только текущий частотный спектр, характеризующий незаконченный процесс в момент времени T_a :

$$S(f, T_a) = \int_{-\infty}^{T_a} u(t)e^{-i2\pi ft} dt. \quad (1.19)$$

Спектральный анализ должен обеспечивать время анализа T_a (время интегрирования) намного больше длительности сигнала (а для периодического

сигнала - больше его периода). В противном случае вместо полного спектра получим текущий спектр, зависящий от времени анализа [2].

Наиболее часто измеряют модуль спектральной функции – его называют амплитудной спектральной функцией, или амплитудным спектром сигнала. Приборы, которые позволяют измерить амплитудный спектр, называют анализаторами спектра (АС). Фазу спектральной функции (фазовый спектр сигнала) измерить сложнее, поэтому в стандартных измерительных задачах этого обычно не предусматривают. Однако, фазовый спектр необходим при анализе сигналов со сложными видами модуляции. Приборы, измеряющие как модуль, так и фазу спектральной функции, называют векторными анализаторами спектра. В них используют цифровые технологии обработки сигнала (вычислительные спектроанализаторы).

Единицы измерения спектральной плотности мощности такие же, как у энергии сигнала, поэтому иногда ее называют энергетическим спектром случайного сигнала. $W(f)$ – это характеристика распределения мощности случайного сигнала по частоте.

Для периодических сигналов спектральная функция представляет собой последовательность дельта-функций, смещенных друг относительно друга на частоту повторения сигнала (линейчатый спектр) [7]. Обычно в этом случае применяют спектральное представление сигнала в виде ряда Фурье:

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n \cos\left(n \frac{2\pi}{T} t + \varphi_n\right), \quad (1.21)$$

где T – период повторения сигнала.

Сигнал представляет собой совокупность гармонических колебаний с кратными частотами. Компонента с нулевой частотой U_0 является постоянной составляющей сигнала (среднее значение сигнала). Ее измеряют вольтметрами постоянного тока. Последовательность $\{U_n\}$ называют амплитудным спектром

периодического сигнала (размерность – В); последовательность $\{\varphi_n\}$ – фазовым спектром (размерность – градусы ($^{\circ}$) или радианы).

1.3 Классификация методов и средств спектрального анализа

К основным задачам спектрального анализа сигналов относятся:

- определение амплитуд и частот гармонических составляющих периодических сигналов;
- измерение амплитудной спектральной функции одиночных сигналов;
- измерение спектральной плотности мощности случайных сигналов.

Все методы спектрального анализа делятся на две группы – аналоговые и цифровые (вычислительные) (рисунок 1.2).

Аналоговые методы, как правило, используют узкополосную фильтрацию сигнала для выделения гармонических составляющих. Вычислительные методы включают оцифровку сигнала и расчет спектра с использованием алгоритмов цифровой фильтрации или быстрого преобразования Фурье (БПФ) [1].

Спектроанализаторы различают по верхней граничной частоте рабочего диапазона. Приборы диапазона НЧ – примерно до частоты 1 МГц – используют для анализа сигналов низкочастотной электроники, акустики и механики.

Спектроанализаторы диапазона ВЧ (до 6 ГГц) необходимы при разработках систем мобильной связи, радиотехнических устройств, аппаратуры радиовещания и телевидения и так далее. АС для диапазона СВЧ (микроволновый диапазон – до 40 ГГц и диапазон миллиметровых волн – свыше 40 ГГц) применяют при измерениях в широкополосных линиях связи, радиорелейных и спутниковых каналах передачи цифровой информации и прочее.



Рисунок 1.2 – Классификация методов и средств спектрального анализа

По принципу действия спектроанализаторы делятся на параллельные и последовательные.

Параллельные АС позволяют производить анализ спектра одновременно во всей рабочей полосе частот. Их называют анализаторами спектра реального времени. Их реализуют, используя набор аналоговых или цифровых фильтров.

Последовательные АС основаны на сканировании диапазона частот одиночным перестраиваемым узкополосным фильтром или селективным приемником. Перестройка может быть как ручной (такие приборы называют

анализаторами гармоник, селективными вольтметрами), так и автоматической (с электронным управлением). В последнем случае используют панорамный метод представления результатов анализа спектра на экране осциллографического индикатора. Спектроанализаторы последовательного типа – это наиболее распространенные приборы частотного анализа в диапазонах ВЧ и СВЧ [1].

Современные цифровые спектроанализаторы используют вычислительные методы спектрального анализа сигналов с помощью алгоритмов БПФ. Это позволяет получить как амплитудный, так и фазовый спектры сигнала, исследовать периодические и одиночные, неповторяющиеся и случайные сигналы. К сожалению, такие приборы довольно дороги и имеют ограничения по рабочему диапазону частот.

2 Принципы работы анализаторов спектра

В данном разделе работы представлены основные классы анализаторов спектра, описаны их принципы функционирования. Также указаны области применения и виды погрешностей анализаторов спектра.

2.1 Анализаторы спектра последовательного типа

АС последовательного типа реализуют узкополосный метод анализа, при котором рабочий диапазон частот последовательно сканируется селективным устройством, выделяющим отдельные гармоники. Наиболее простой является схема с перестраиваемым фильтром (рисунок 2.1).

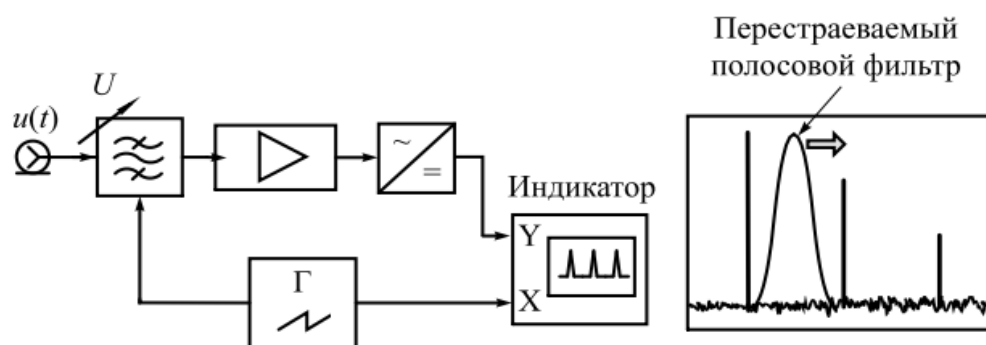


Рисунок 2.1 – Последовательный анализатор спектра с перестраиваемым полосовым фильтром

Главная часть прибора – электрически перестраиваемый полосовой фильтр. Управление частотой настройки фильтра осуществляют напряжением развертки. Сигнал с выхода фильтра усиливают, детектируют и подают на канал вертикального отклонения осциллографического индикатора. Данный сигнал пропорционален уровню гармонических составляющих, присутствующих на входе АС. Анализаторы такого типа иногда применяют в СВЧ-диапазоне. Их строят на основе электрически перестраиваемых

ферритовых СВЧ-фильтров с полосой пропускания до 30 МГц. Более узкие полосы пропускания реализовать в перестраиваемых фильтрах, как правило, не удастся.

Работа последовательного АС на примере анализа спектра синусоидального сигнала (одной гармоники с частотой f_c). Гетеродин является генератором, управляемым напряжением. Поскольку закон измерения частоты в АС периодический (обычно пилообразный), его принято называть генератором качающейся частоты. ГКЧ вырабатывает гармонический сигнал с постоянной амплитудой U_p и меняющейся по линейному закону частотой $f_r(t)$. Обычно частоту гетеродина делают выше верхней рабочей частоты АС [3]. Частота ГКЧ связана с управляющим напряжением развертки $u_p(t)$ линейным законом:

$$f_r(t) = f_{r\min} + (f_{r\max} - f_{r\min}) \frac{u_p(t)}{U_p}. \quad (2.1)$$

На выходе смесителя возникают сигналы с комбинационными частотами, в том числе с разностной частотой $f_r(t) - f_c$. Этот сигнал u_2 проходит через усилитель промежуточной частоты в какой-то момент времени t_0 , когда разностная частота совпадает с частотой настройки фильтра УПЧ:

$$f_{\text{ПЧ}} = f_r(t_0) - f_c. \quad (2.2)$$

Форма сигнала u_3 определяется АЧХ радиофильтра. На выходе детектора получают видеоимпульс u_4 . Он является откликом (реакцией) последовательного АС на гармоническое воздействие. Этот импульс подают на осциллографический индикатор прибора. Форма отклика повторяет форму АЧХ УПЧ и для узкополосного фильтра может выглядеть как тонкая вертикальная линия. Момент времени t_0 , когда импульс появляется на экране, зависит от частоты гармоники. Величина отклика пропорциональна амплитуде входного сигнала. Реакция АС на гармоническое воздействие представляет собой

аппаратную функцию анализатора. Ее можно рассматривать как частотный аналог импульсной характеристики, являющейся характеристикой устройства во временной области [1].

При наличии в составе спектра сигнала других гармоник процесс образования откликов происходит аналогично, но в другие моменты времени. Соответственно, их изображения (отклики спектроанализатора на гармонические составляющие сигнала) появляются в разных точках оси X. Совокупность откликов на экране образуют спектрограмму последовательного АС. Высоты откликов пропорциональны амплитудам входных гармоник, расположение откликов на оси X соответствует значениям частот гармонических составляющих входного сигнала [1].

2.2 Основные параметры анализаторов спектра последовательного типа и области их применения

Рабочий диапазон частот – это тот частотный диапазон, в котором возможен анализ спектра данным прибором. Рабочий диапазон может быть разбит на поддиапазоны.

Полоса обзора (полоса анализа) – это диапазон частот, в котором производится обзор спектра сигнала за один ход развертки. Полоса обзора может регулироваться от максимального значения до нуля. В последнем случае спектроанализатор превращается в измерительный приемник с ручной перестройкой частоты.

Время анализа (время обзора) – это время, за которое спектроанализатор перестраивается в пределах полосы обзора. Оно равно длительности прямого хода развертки и может регулироваться в широких пределах (от единиц миллисекунд до десятков секунд и более). Если в АС

предусмотрен ручной режим перестройки по частоте, то время анализа не ограничено. Этот режим используют при работе с особо узкими полосами УПЧ.

Разрешающая способность – минимальная разность частот двух спектральных составляющих, при которой они на экране фиксируются раздельно и могут быть измерены [9]. Численно разрешающая способность задается разностью частот двух гармоник U_1 и U_2 , которые создают изображение откликов, пересекающихся на определенном уровне. Обычно используют пересечение на уровне 0,707 (минус 3 дБ) от амплитуд откликов или на уровне 0,5 (минус 6 дБ) (рисунок 2.2).

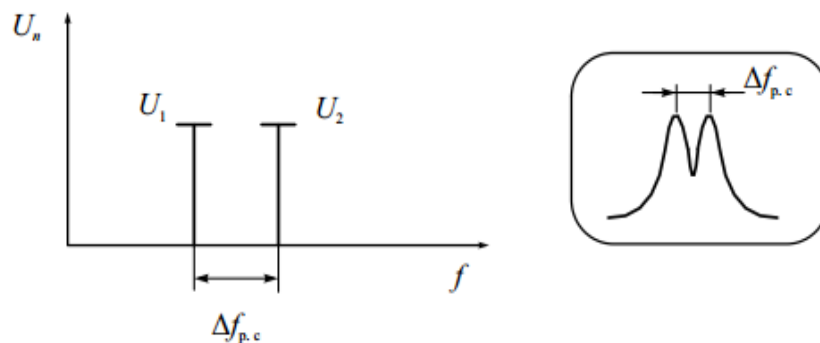


Рисунок 2.2 – Спектрограмма, соответствующая разрешающей способности АС последовательного типа

Различают статическую и динамическую разрешающие способности последовательного АС. Статическая определяется шириной полосы пропускания УПЧ. Для типовой формы АЧХ УПЧ используют эмпирическую оценку статической разрешающей способности:

$$\Delta f_{p.c} \cong \sqrt{3} \cdot \Delta f_{УПЧ} \quad (2.7)$$

Динамическая разрешающая способность определяется степенью расширения отклика из-за динамических искажений в фильтре УПЧ. Форма огибающей на выходе радиофильтра и ширина отклика на экране будут отличаться от статической. Поэтому разрешающая способность АС зависит от времени анализа и полосы обзора (анализа) Δf_a . Из условия (1.11) следует, что

при очень узких полосах пропускания время анализа должно быть достаточно велико – единицы и десятки секунд. При невыполнении условия на экране наблюдается расширение отклика и искажение спектрограммы. Последнее приводит к снижению разрешающей способности, поэтому динамическая разрешающая способность всегда хуже статической [2].

Методы улучшения динамической разрешающей способности:

- увеличение времени анализа. При исследовании сигналов с близкими гармониками используют большое время анализа при минимально возможной полосе пропускания радиопрофильтра. В наиболее сложных случаях переходят к ручной перестройке частоты;
- расширение полосы пропускания радиопрофильтра УПЧ. При этом снижение статической разрешающей способности компенсируется уменьшением динамических искажений;
- использование стоп–метки. В точке остановки частоты динамических искажений нет. Частотная метка всегда располагается на контуре статического отклика и искажения в этой точке отсутствуют.

Чувствительность АС – это минимальный уровень входного гармонического сигнала, который может быть измерен с заданной точностью. Чувствительность ограничена внутренними шумами прибора. Количественно она оценивается как минимальное значение синусоидального сигнала, при котором его отклик превышает уровень шумов на экране прибора в заданное число раз (например, на 20 дБ) [9]. В технических параметрах АС часто указывают уровень собственных шумов прибора, который позволяет оценить чувствительность по любому отношению сигнал/шум.

Максимальный уровень входного сигнала определяется уровнем допустимых искажений исследуемого спектра при воздействии сигнала на входные активные блоки прибора. При перегрузках большим сигналом в

спектрограмме появляются дополнительные паразитные составляющие, а амплитуды существующих откликов могут измениться.

Динамический диапазон – это соотношение максимального и минимального уровней двух гармоник, при котором искажения их спектрограммы за счет нелинейности АС пренебрежимо малы. Не следует путать это понятие с диапазоном измеряемых амплитуд сигнала, который при использовании входного аттенюатора может быть намного больше динамического диапазона. Присутствие в реальных сигналах больших и малых уровней гармоник предъявляет жесткие требования к динамическому диапазону. Он определяется нелинейностью входных блоков спектроанализатора (смесителя, усилителя и пр.). Современные спектроанализаторы имеют высокий динамический диапазон (до 120 дБ и более).

Селективность по побочным каналам приема характеризуется степенью подавления сигнала помехи на частоте зеркального канала прохождения сигнала. Этот параметр зависит от свойств входного фильтра – преселектора и значения первой промежуточной частоты АС.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) – это зависимость измеренной амплитуды гармоники от ее частоты в пределах полосы обзора [17]. Измеряют АЧХ при постоянной амплитуде синусоидального сигнала на входе и вариации его частоты. АЧХ определяет систематическую погрешность при измерении спектров в широком диапазоне частот.

Метрологические характеристики АС – это погрешности измерения уровня и частот гармоник. Погрешность измерения амплитуды включает погрешность калибровки на фиксированной частоте и погрешность за счет неравномерности собственной АЧХ, погрешность калиброванного аттенюатора на входе АС. Погрешность измерения частоты определяется точностью

калибровки шкалы, точностью совмещения стоп–метки с выбранной точкой спектрограммы, погрешностью частотомера [17].

Современные анализаторы спектра последовательного типа имеют широкие рабочие диапазоны частот (до единиц и десятков гигагерц), минимальные полосы пропускания УПЧ – от десятков герц до единиц килогерц, малый уровень собственных шумов и обеспечивают значительный динамический диапазон (до 150 дБ). Погрешности измерения амплитуды от 0,5 до 2 дБ, измерения частоты от 10^{-3} до 10^{-6} .

В настоящее время в спектроанализаторах широко используют цифровую обработку видеосигнала после его фильтрации и детектирования. Она позволяет увеличить динамический диапазон и расширить функциональные возможности прибора.

2.3 Параллельные анализаторы спектра

Основной недостаток спектроанализаторов последовательного типа – длительное время анализа спектра, необходимое для перестройки прибора в полосе обзора. За это время спектр сигнала меняться не должен, что сужает область использования таких спектроанализаторов. Они применяются, в основном, для периодических сигналов. Для измерения спектров одиночных и случайных (например, шумовых) сигналов необходимо производить измерение спектра сразу во всем диапазоне частот. Время анализа при этом должно быть намного меньше длительности исследуемого процесса. Приборы, которые обеспечивают такие свойства, называют анализаторами реального времени. Они используют параллельный и псевдопараллельный принципы анализа, дисперсионные линии задержки, а также алгоритмы цифрового анализа спектров [23].

Параллельные спектроанализаторы представляют собой приборы с узкополосной фильтрацией сигнала системой фильтров с перекрывающимися частотными характеристиками.

Один из возможных вариантов такого прибора с панорамной индикацией представлен на рисунке 2.3. Он содержит систему фильтров, детекторов среднеквадратического значения и коммутатор (мультиплексор) выходных напряжений. Управление коммутатором осуществляется от тактового генератора, создающего также ступенчатое напряжение развертки. Это напряжение поступает на канал X индикатора. На канал Y через мультиплексор подают усиленный сигнал с выходов детекторов. Спектрограмма на экране представляет собой набор точек, вертикальное положение которых соответствует среднеквадратическому значению уровня гармонических составляющих, выделенных каждым из фильтров анализатора. Например, если на вход подано пять гармонических составляющих, то на спектрограмме появятся пять точек, соответствующих номерам фильтров, имеющих частоту настройки на эти частоты [24]. Для удобства измерения на экране индикатора вместо точек чаще предусматривают отрисовку полосок, показывающих уровень выделенных сигналов. Спектрограмма в этом случае выглядит как полосковая диаграмма (Bar Graph).

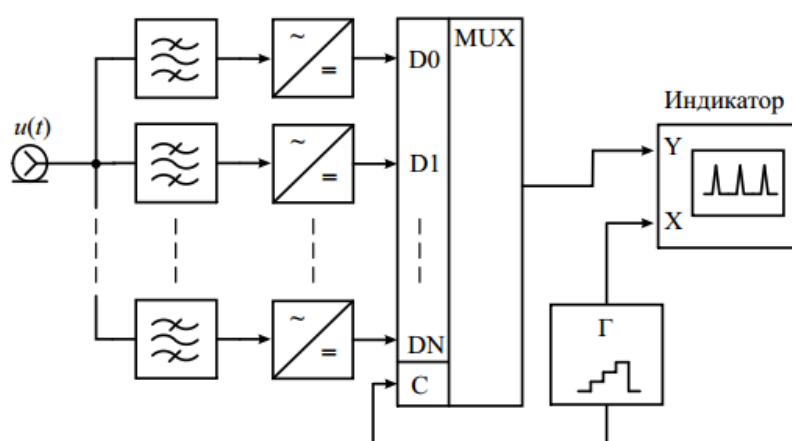


Рисунок 2.3 – Параллельный анализатор спектра

Время анализа параллельного спектроанализатора невелико и зависит в основном от времени установления напряжения на выходе фильтров. Это время оценивают значением постоянной времени фильтра с минимальной полосой пропускания:

$$T_a \cong \frac{1}{\Delta f_{\text{ПФ}min}}. \quad (2.8)$$

Ширина полосы обзора параллельного спектроанализатора равна сумме полос пропускания всех фильтров. Для увеличения разрешающей способности приходится использовать большое количество фильтров, и это затрудняет реализацию таких приборов. Поэтому в настоящее время параллельные АС строят с использованием цифровых фильтров.

Цифровой фильтр (ЦФ) – это алгоритм обработки цифрового сигнала, соответствующий процессу узкополосной фильтрации аналогового сигнала. Частотная характеристика и стабильность ее формы у ЦФ может быть значительно лучше, чем у аналогового [25]. Программа цифрового детектирования («цифровой детектор» на выходе ЦФ), рассчитывает истинное среднеквадратическое значение сигнала с высокой точностью даже в случае большого пик–фактора сигнала. Однако применение ЦФ требует предварительного аналого-цифрового преобразования сигнала. Это ограничивает рабочий диапазон частот анализатора и его динамический диапазон.

2.4 Вычислительные анализаторы спектра

Вычислительные (цифровые) спектроанализаторы позволяют получить спектр входного сигнала с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ) значений отсчетов исследуемого сигнала. Практически всегда используют алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ), поэтому такие приборы называют БПФ-анализаторами.

Для выполнения БПФ исследуемый сигнал дискретизируют во времени (с интервалом дискретизации Δt) и квантуют по уровню с помощью быстродействующего АЦП. Частота дискретизации $f_d = \frac{1}{\Delta t}$ должна удовлетворять теореме Котельникова, то есть должна быть, по крайней мере, вдвое выше максимальной частоты спектра исследуемого сигнала. На практике это условие необходимо выполнять со значительным запасом, иначе возникают искажения, вызванные наложением спектров выборок. Достижимая частота дискретизации ограничивает полосу анализа спектра. Поэтому применяют разделение требуемого рабочего диапазона частот на участки, в которых по очереди проводится БПФ. При выводе результатов анализа данные БПФ на всех участках сводятся в одну спектрограмму [8].

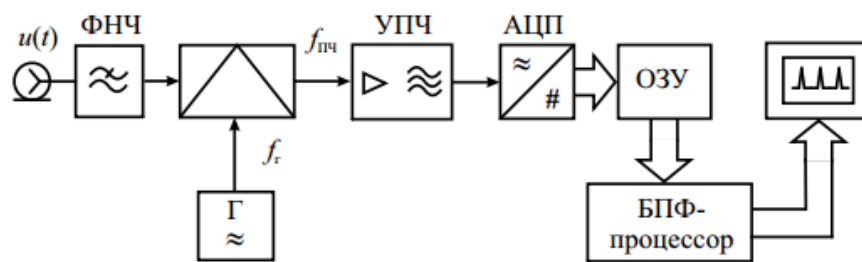


Рисунок 2.4 – Структурная схема вычислительного анализатора спектра

На рисунке 2.4 представлена упрощенная структурная схема вычислительного спектроанализатора. Спектр входного сигнала ограничивается сверху с помощью ФНЧ для подавления помех зеркального канала. С помощью преобразователя частоты полоса частот входного сигнала смещается в область рабочего диапазона частот АЦП. Далее сигнал усиливается в УПЧ с относительно широкой полосой пропускания, равной рабочей полосе частот АЦП. УПЧ выполняет также роль фильтра для устранения эффекта наложения спектров (anti-aliasing). После аналогово-цифрового преобразования значения отсчетов сигнала поступают в ОЗУ. Эти данные используются для вычисления спектра в блоке БПФ. Результат расчета спектра поступает на дисплей [20].

БПФ-анализатор может быть реализован как в виде специализированного сигнального процессора (микропроцессорного вычислительного блока), так и в виде компьютерного измерительного устройства (виртуального прибора). В последнем случае используют как специализированное, так и стандартное программное обеспечение (например, средства пакетов LabView или MatLab). В отличие от других типов АС БПФ – анализаторы способны рассчитать как амплитудный, так и фазовый спектры, это важное преимущество таких приборов.

Рассмотрим особенности алгоритма ДПФ (БПФ), которые необходимо учитывать при работе с цифровым анализатором спектра. Вычислительный спектроанализатор рассчитывает спектр конечной выборки из N отсчетов сигнала длительностью $T_c = N\Delta t$, а не спектр непрерывного (например, периодического) сигнала. В алгоритме ДПФ выборку рассматривают как периодический сигнал с периодом T_c . То есть, выборку дополняют слева и справа копиями отсчетов, сдвинутых во времени на $N\Delta t$ [20]. Последовательность пронумерованных от 0 до $N-1$ отсчетов сигнала $\{u(k)\}$ повторяется с периодом N $u(k + N) = u(k)$ для любого k . Эта последовательность соответствует дискретному сигналу из смещенных по времени дельта-функций:

$$\hat{u}_t = \sum_{k=-\infty}^{\infty} U(k\Delta t) \delta(t - k\Delta t) \quad (2.9)$$

Известно, что дискретный сигнал имеет повторяющийся на оси частот спектр с периодом $f_d = \frac{1}{\Delta t}$. Периодичность сигнала во времени соответствует дискретному спектру с расстоянием между гармониками, равным $\frac{1}{T_c} = \frac{1}{N\Delta t}$. Таким образом, количество гармоник в одном периоде спектра равно количеству отсчетов сигнала в выборке N .

Рассмотрим процедуру вычисления спектра периодического дискретного сигнала. Будем раскладывать его в ряд Фурье. Коэффициенты S_n этого ряда согласно общей формуле для коэффициентов комплексного ряда Фурье равны:

$$S(n) = \frac{1}{T_c} \int_0^T u(t) \exp\left(-i \frac{2\pi n}{T_c} t\right) dt == \frac{1}{N\Delta t} \int_0^{N\Delta t} [\sum_0^{N-1} U(k\Delta t) \delta(t - k\Delta t)] \exp\left(-i \frac{2\pi n}{T_c} t\right) dt == \frac{1}{N\Delta t} \sum_0^{N-1} U(k) \exp\left(-i \frac{2\pi nk}{N}\right). \quad (2.10)$$

Таким образом, формула для вычисления комплексных амплитуд гармоник спектра $S(n)$ представляет собой линейную комбинацию отсчетов, умноженных на экспоненциальные функции от комплексного аргумента, включающего дискретное значение частоты гармоники $f_n = \frac{n}{T_c} = \frac{n}{N\Delta t}$. Реальный масштаб времени сигнала обозначен только в множителе $\frac{1}{N\Delta t}$ перед оператором суммирования [27]. При рассмотрении дискретных последовательностей обычно оперируют только номерами отсчетов и спектральных гармоник. Интервал дискретизации делают равным единице. Кроме этого, принято нормировать уровни гармоник, перенося множитель $\frac{1}{N}$ в выражение для обратного преобразования Фурье. Получившееся после нормировки выражение называется дискретным преобразованием Фурье $S(n)$ для сигнала $u(k)$:

$$S_n = \sum_0^{N-1} U(k) \exp\left(-i \frac{2\pi nk}{N}\right). \quad (2.11)$$

Существует и обратное дискретное преобразование Фурье. Переход от дискретного спектра к временным отсчетам сигнала выражается следующей формулой:

$$U(k) = \frac{1}{N} \sum_0^{N-1} S(n) \exp\left(i \frac{2\pi nk}{N}\right). \quad (2.12)$$

Это выражение отличается от формулы прямого ДПФ лишь знаком в показателе комплексной экспоненты и наличием множителя $\frac{1}{N}$ перед оператором суммирования.

Разрешающая способность БПФ–анализатора равна расстоянию между двумя спектральными компонентами входного сигнала, при котором они появляются на соседних отсчетах дискретного спектра [8]. Следовательно, БПФ можно трактовать как обработку сигнала системой из N узкополосных фильтров, настроенных на частоты дискретизации спектра f_n (частотные каналы) со сдвигом по частоте, равным $\frac{1}{N\Delta t}$ АЧХ каждого такого фильтра для каждой из N частот дискретного спектра описывается функцией вида:

$$K_n(f) = \frac{\sin\left(\pi n \frac{f-f_n}{f_d}\right)}{\sin\left(\pi \frac{f-f_n}{f_d}\right)}. \quad (2.13)$$

Ширина полосы пропускания канала определяется количеством отсчетов сигнала в выборке N . На рисунке 2.12 изображен график АЧХ БПФ третьего частотного канала при $N = 8$. Пунктирной линией на этом же рисунке показана АЧХ соседнего четвертого частотного канала. Градуировка частотной оси обозначает номера частотных каналов. Если на вход поданы две гармоники, частоты которых попадают точно на частоты двух каналов, то на выходе БПФ–анализатор покажет две составляющие спектра. Однако если частота гармоники не совпадает с частотой частотного канала, то возникает погрешность измерения ее амплитуды, определяемая формой АЧХ канала. Также, гармоника попадет в соседние частотные каналы, что создаст ложные отсчеты в полученном спектре за счет большого уровня боковых лепестков АЧХ канала.

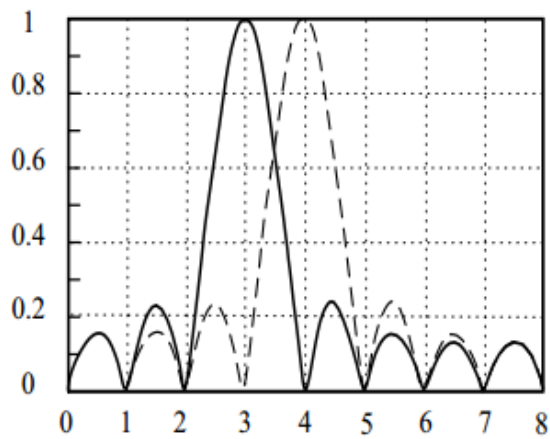


Рисунок 2.12 – АЧХ частотных каналов БПФ

Для улучшения формы АЧХ и снижения уровня боковых лепестков используют весовые функции $w(k)$, которые также называют окнами (window). Перед выполнением БПФ отсчеты сигнала умножают на весовую (оконную) функцию, которая спадает к началу и концу выборки сигнала. Умножение сигнала на весовую функцию соответствует свертке спектров сигнала и весовой функции. Подбирая подходящую весовую функцию $w(k)$ для конкретной измерительной задачи, можно уменьшить уровень боковых лепестков частотной характеристики каналов БПФ. Но при этом расширяется центральный лепесток частотной характеристики и уменьшается разрешающая способность АС. Для исходного БПФ (без оконной обработки) весовая функция – это прямоугольное окно с длительностью, равной длине выборки. Именно поэтому АЧХ канала имеет вид преобразования Фурье от прямоугольного импульса [30].

Программное обеспечение современных цифровых спектроанализаторов позволяет не только проводить спектральный анализ, но и восстанавливать сигнал по его спектру (вычислять обратное преобразование Фурье), выполнять корреляционный анализ сигналов, измерение их параметров (амплитуды, частоты, фазы, индексов модуляции), проводить анализ характеристик электрических цепей (АЧХ и ФЧХ, импульсных и переходных характеристик).

2.5 Погрешности измерения амплитуды и частоты

Для большинства анализаторов спектра характеристики нормируются на основе как абсолютной, так и относительной погрешности. Но, относительная погрешность должна учитываться в обоих случаях, поэтому были рассмотрены факторы, оказывающие влияние на относительную погрешность измерения.

Относительная погрешность.

При проведении относительных измерений на входном сигнале, используется либо какая-то часть этого же сигнала, либо другой сигнал в качестве опорного. Например, при измерении гармонических искажений второго порядка в качестве опорного сигнала мы используем основную частоту сигнала. Абсолютные значения не играют роли; имеют значение только, насколько вторая гармоника отличается по амплитуде от сигнала основной частоты.

Абсолютная погрешность измерения амплитуды.

Почти все анализаторы спектра имеют встроенный калиброванный источник, который обеспечивает известный опорный сигнал заданной амплитуды и частоты. Мы полагаемся на относительную погрешность анализатора при переносе результатов калибровки абсолютных значений по опорному сигналу на другие частоты и амплитуды. Анализаторы спектра часто имеют характеристику абсолютной неравномерности АЧХ, где нулевая точка на кривой неравномерности соответствует этому калибровочному сигналу.

Диапазоны значений на рисунке 3.2 представляют технические характеристики ряда анализаторов спектра.

Технические характеристики, типовые характеристики и номинальные значения.

При оценке точности анализатора спектра важно иметь чёткое представление о значениях многих различных величин, имеющих в документах, содержащих технические характеристики анализатора. Обычно определяется три класса технических характеристик прибора:

Технические характеристики (ТХ) описывают характеристики параметров, поддерживаемые гарантией на прибор в диапазоне температур от 0 до 55 °C (если не указано иное). Каждый прибор тестируется для проверки соответствия техническим характеристикам с учётом погрешностей измерения оборудования, использованного для тестирования прибора. Все приборы, прошедшие тестирование, будут соответствовать техническим характеристикам. Ряд производителей измерительного оборудования используют значение интервала 2σ или уровня достоверности 95% для некоторых технических характеристик прибора. Поэтому при оценке технических характеристик приборов разных производителей важно убедиться, что сравниваются аналогичные параметры, чтобы обеспечить точное сравнение.

Типовые характеристики дают дополнительную информацию о характеристиках прибора, но не поддерживаются гарантией на прибор. Это значения рабочих параметров, которые выходят за рамки гарантированных характеристик и с достоверностью 95% реализуются для 80% приборов в интервале температур окружающей среды от 20 до 30 °C. Типовые характеристики не включают погрешности измерений. В процессе производства все приборы тестируются на соответствие типовым характеристикам.

Номинальные значения представляют ожидаемые характеристики или описывают рабочие характеристики прибора, которые полезно знать при его эксплуатации, но которые не поддерживаются гарантией на прибор.

Номинальные параметры обычно не тестируются во время процесса производства.

Архитектура и погрешности цифрового тракта ПЧ

Цифровая архитектура тракта ПЧ устраняет или минимизирует многие из погрешностей, которые встречаются в аналоговых анализаторах спектра. К ним относятся следующие:

Погрешность воспроизведения шкалы экрана

Цифровая архитектура тракта ПЧ не включает логарифмический усилитель. Вместо этого логарифмическая функция реализуется математически, и традиционная погрешность воспроизведения логарифмической шкалы не существует. Эта погрешность образуется за счёт вклада других факторов, таких как компрессия ВЧ-сигналов, точность настройки усиления диапазона АЦП и нелинейность АЦП (или ошибка квантования). Ошибку квантования можно улучшить добавлением шума, который сглаживает среднее значение передаточной функции АЦП. Этот добавленный шум называют дизером (подмешиваемый псевдослучайный сигнал). Добавление шума уменьшает нелинейность, но при этом несколько ухудшает средний уровень собственных шумов.

Погрешность переключения полосы пропускания

Аналоговый предварительный фильтр имеет погрешность установки полосы пропускания, усиления и центральной частоты, которая зависит от установки полосы пропускания анализатора. Последующая фильтрация в полосе пропускания реализована цифровыми методами в специализированной ИС цифрового тракта ПЧ. Хотя цифровые фильтры не являются идеальными, они характеризуются очень высокой повторяемостью, а для минимизации погрешностей применяется компенсация. Это приводит к значительному суммарному улучшению погрешности переключения полосы пропускания по сравнению с аналоговыми приборами.

Погрешность измерения частоты

Измерения частоты можно разделить на две основные категории: абсолютные и относительные измерения частоты. Абсолютные измерения используются для измерения частоты конкретных сигналов. Абсолютные измерения также используются для анализа нежелательных сигналов, например, при поиске паразитных помех. Относительные измерения, с другой стороны, полезны для определения разности частот между спектральными составляющими или частоты модуляции.

3 Практическая реализация функций анализатора спектра

В данном разделе приведен алгоритм, также описан процесс программной реализации анализатора спектра в среде MatLab. Приведено описание анализатора спектра из состава программно-аппаратной среды NI ELVIS и описаны эксперименты по сравнению функциональности данных анализаторов спектра [30].

3.1 Обзор NI ELVIS

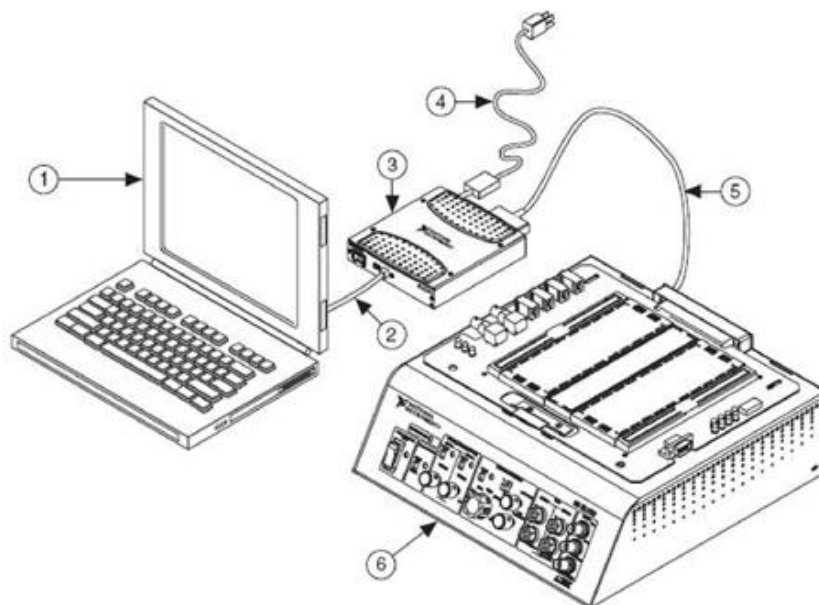
NI ELVIS является программно-аппаратной средой, содержащей плату ввода-вывода, рабочую станцию, набор виртуальных приборов.

3.1.1 Настольная рабочая станция NI ELVIS

Настольная рабочая станция и DAQ-устройство (модуль ввода-вывода) вместе образуют завершенную лабораторную установку. Рабочая станция обеспечивает подключение исследуемых объектов и определяет функциональность лабораторной установки. На панели управления станции NI ELVIS расположены простые органы управления функциональным генератором и регулируемыми блоками питания, а также удобные средства подключения к осциллографу и цифровому мультиметру – BNC-разъемы и разъемы штекерного типа. Программное обеспечение NI ELVIS маршрутизирует сигналы в настольной рабочей станции между приборами. Например, выходной сигнал функционального генератора может быть направлен на определенный канал модуля ввода-вывода и, в конечном счете, этот сигнал окажется на нужном канале осциллографа NI ELVIS. Рабочая станция содержит также плату защиты, предохраняющую модуль ввода-вывода

от повреждений, которые могут случиться при ошибочных действиях с лабораторным оборудованием [32].

Макетная плата NI ELVIS устанавливается в настольную рабочую станцию и предназначена для монтажа электронной схемы и подключения ее через соответствующие разъемы к приборам. С одной рабочей станцией можно использовать несколько сменных макетных плат. Программное обеспечение NI ELVIS, разработанное в LabVIEW, обладает достоинствами программ, реализованных с использованием технологии виртуальных инструментов. Для программирования аппаратных средств NI ELVIS в состав программного обеспечения включены измерительные приборы с лицевой панелью, отображаемой на экране монитора (Soft Front Panel Instruments – SFP), API-функции LabVIEW (Application Programming Interface – интерфейс программных приложений) и программные блоки SignalExpress. Внешний вид NI ELVIS показан на рисунке 3.1.



1 – компьютер; 2 – USB кабель; 3 – DAQ-устройство; 4 – сетевой шнур питания для DAQ-устройства; 5 – экранированный кабель; 6 – настольная рабочая станция NI ELVIS

Рисунок 3.1 – Схема размещения компонентов экспериментальной установки
NI ELVIS

3.1.2 Состав виртуальных приборов NI ELVIS

Функциональные возможности набора типовых лабораторных измерительных приборов в NI ELVIS реализованы на основе многофункционального устройства ввода-вывода (DAQ), специальной настольной рабочей станции, макетной платы и программ, разработанных в среде LabVIEW. В настольную рабочую станцию NI ELVIS встроены аппаратно реализованные функциональный генератор и регулируемые блоки питания. А спроектированные в LabVIEW лицевые панели (Soft Front Panel – SFP) измерительных приборов объединяют функциональность DAQ- устройства (модуля ввода-вывода) и рабочей станции NI ELVIS, предоставляя возможность работы со следующими приборами:

- генератором сигналов произвольной формы (Arbitrary Waveform Generator – ARB);
- анализатором амплитудно и фазочастотных характеристик (Bode Analyzer);
- устройством чтения с цифровой шины (Digital Bus Reader);
- устройством записи на цифровую шину (Digital Bus Writer);
- цифровым мультиметром (Digital Multimeter – DMM);
- анализатором спектра (Dynamic Signal Analyzer – DSA);
- функциональным генератором сигналов (Function Generator – FGEN);
- анализатором импеданса (Impedance Analyzer);
- осциллографом (Oscilloscope – Scope);
- анализатором вольтамперной характеристики двухполюсников (Two-Wire Current Voltage Analyzer);

- анализатором вольтамперной характеристики четырехполюсников (Three-Wire Current Voltage Analyzer);
- регулируемыми источниками питания (Variable Power Supplies).

Кроме перечисленных приборов в NI ELVIS имеется набор высокоуровневых функций LabVIEW для усовершенствования средств отображения данных, организации экспериментов и управления. В NI ELVIS версии 3.0 и выше управлять приборами NI ELVIS можно с помощью среды SignalExpress, которая не требует программирования.

3.2 Анализатор спектра NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer

3.2.1 Описание анализатора спектра DSA

Как уже было отмечено, в Томском политехническом университете на занятиях по электронике, электротехнике, метрологии используется виртуальный прибор из состава программно-аппаратной среды NI Elvis – анализатор спектра (Dynamic Signal Analyzer – DSA). Прибор использует аналоговый вход модуля ввода-вывода NI ELVIS. Он относится к цифровым анализаторам параллельного типа в виде БПФ-анализатора, который вычисляет спектр с помощью алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ) [33]. Панель виртуального прибора показана на рисунке 3.2.

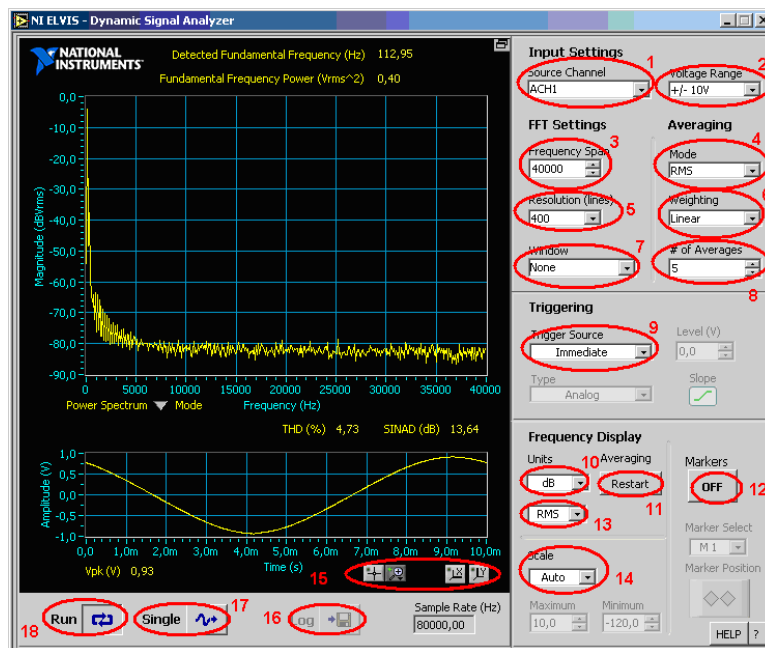


Рисунок 3.2 – Панель анализатора спектра Dynamic Signal Analyzer

На рисунке использованы следующие обозначения:

- 1 – выбор источника входного сигнала;
- 2 – диапазон напряжения;
- 3 – развертка по частоте;
- 4 – вычисление средних значений (none, RMS, vector, peak hold);
- 5 – разрешение;
- 6 – весовая обработка данных (linear, exponential);
- 7 – настройки окна;
- 8 – число средних;
- 9 – настройки триггера;
- 10, 13 – выбор единиц измерения;
- 11 – кнопка перезапуска;
- 12 – маркер;
- 14 – настройка шкалы (ручная, автоматическая);
- 15 – кнопки управления масштабом;
- 16 – кнопка сохранения результатов;

17 – кнопка одиночного запуска;

18 – кнопка запуска

В основных чертах, работа с DSA происходит следующим образом.

- выбираем источника входного сигнала, например Scope CNA – разъем CNA на макетной плате рабочей станции;
- выбираем диапазон напряжения входного сигнала (± 10 В, ± 5 В, ± 500 мВ, ± 50 мВ);
- задаем максимальное значение частоты анализа (верхнюю границу диапазона частот);
- выбираем количество точек в спектрограмме (200, 400, 800, 1600, 3200);
- выбираем окно для сигнала (прямоугольное, Хэмминга и т.д.);
- задаем параметры усреднения спектрограммы;
- выбираем параметры вертикального масштаба (логарифмические. линейные);
- задаем диапазон вертикальной шкалы (автоматически, вручную);
- запускаем прибор.

Особенностью работы прибора является следующее:

1. При выборе верхней границы частотного диапазона, прибор автоматически выставляет частоту квантования входного сигнала. Так, например, на рисунке установлена верхняя граница частотного диапазона в 40кГц. В нижней части экрана прибора отображается частота квантования – 80 кГц. Эта особенность исключает возможность одновременного использования анализатора спектра и других приборов, использующих аналоговый ввод сигналов, например, осциллографа, то есть исключается возможность одновременного наблюдения формы и спектра сигналов.

2. Следующая особенность прибора является следствием применения для получения спектра БПФ. Известно, что шаг квантования по частоте алгоритма БПФ обратно пропорционален длительности сигнала. Поскольку в приборе задаем верхнюю границу частотного диапазона и количество точек в спектрограмме, таким образом, шаг квантования определяется расстоянием между двумя точками в спектрограмме. Например, установив верхнюю границу диапазона в 50 кГц, а число разбиения в 1600, мы получаем шаг квантования по частоте, равный 31,25 Гц, что соответствует длительности участка сигнала подвергаемого БПФ в 32 мсек. То есть у нас отсутствует явная возможность выбора времени анализа. Наличие этого параметра обязательно для профессиональных приборов. Также следствием использования БПФ является невозможность выбора конкретного диапазона частот для анализа.

3. Так как при БПФ весь диапазон частотного анализа разбит на равные отрезки, разрешающая способность прибора не зависит от частоты анализа и определяется шагом квантования по частоте и не может быть увеличена по причине отсутствия возможности задания конкретного диапазона частот для анализа.

4. Следующая особенность прибора не связана с алгоритмом обработки данных и заключается в отсутствии логарифмического масштаба в шкале частот. Шкала линейна, что затрудняет одновременное наблюдение спектров процессов, частоты которых различаются на порядки.

5. Наличие разбиения диапазона частот при анализе на конечные интервалы ограничивает разрешающую способность прибора. Благодаря уменьшению шага квантования по частоте, то есть увеличению числа разбиений диапазона, возрастет вычислительная нагрузка на процессор компьютера, поскольку на каждой итерации сбора данных прибор вычисляет полный массив данных преобразования Фурье.

Эти особенности прибора будут проиллюстрированы нами далее в эксперименте.

3.2.2 Алгоритм функционирования анализатора спектра NI ELVIS DSA

На основе приведенных выше рассуждений мы можем составить предполагаемый алгоритм функционирования анализатора спектра NI ELVIS DSA:

1. Начало;
2. Получение от пользователя данных о спектральном расчете (верхняя граница диапазона частот, число разбиений диапазона частот, тип окна);
3. Получение от пользователя данных для отображения спектра (вертикальный масштаб, режим отображения линейный либо в децибелах, параметры усреднения спектрограммы).
4. Вычисление частоты квантования сигнала (шага квантования по времени);
5. Вычисление шага квантования спектрограммы по частоте (времени анализа сигнала);
6. Определение размера кольцевого буфера для хранения данных сигнала;
7. Циклическое заполнение входного буфера (буфер 1);
8. Копирование данных входного буфера в расчетный буфер (буфер 2);
9. Умножение данных расчетного буфера на функцию окна.
10. Применение к данным расчетного буфера алгоритма БПФ и запись результатов в другой буфер (буфер 3);
11. Расчет модуля для каждого элемента буфера 3 и запись результатов в буфер 4;
12. Определение максимального и минимального значения в буфере 3;

13. Если пользователем выбран логарифмический масштаб отображения данных, то пересчет содержимого буфера 4 в децибелы относительно максимального значения;

14. Определение максимального и минимального значений результатов пересчета в децибелах;

15. Копирование результатов расчета в экранный буфер 5 для последующего отображения и усреднения;

16. Настройка масштаба экрана в соответствии с верхней границей диапазона частот, а также максимальным и минимальным результатами расчета;

17. Отображение содержимого буфера 5 на экране;

18. Конец.

Как видно, анализатор спектра RSA является цифровым анализатором спектра параллельного действия. То есть, входной сигнал оцифровывается, сохраняется в буфере. Далее для него по алгоритму БПФ рассчитывается спектр. То есть на каждой итерации сбора данных вычисляется спектр одновременно на всех частотах анализа.

К недостаткам, ограничивающим практическое применение данного прибора являются:

- невозможность задания конкретного диапазона частот анализа;
- отсутствие логарифмического масштабирования шкалы по частоте;
- недоступность ручного выбора времени анализа;
- линейное разбиение диапазона частот;
- ограниченная разрешающая способность прибора.

3.3 Анализатор спектра на основе интеграла Фурье

Согласно теории, и тому, что написано в разделе 1, для процесса, ограниченного во времени, спектральные компоненты на заданной частоте определяется посредством интеграла Фурье.

$$S(f) = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} U(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt. \quad (3.1)$$

где t_1, t_2 – границы интервала времени сигнала, для которого определяется спектр;

$U(t)$ – мгновенное значение сигнала в момент времени t ;

f – текущая частота, для которой рассчитывается спектр.

То есть, в общем случае непрерывного по времени сигнала, для заданного интервала времени анализа мы можем найти значение компонент спектра сигнала на любой частоте. В нашем случае работа ведется с сигналом, дискретизированным по времени и по уровню, поэтому данный интеграл должен быть рассчитан численно, например, по методу прямоугольников либо по методу трапеций. Другие методы интегрирования, например метод парабол сложны в расчетах, поэтому их мы не используем. Конкретно в нашем случае воспользуемся методом прямоугольников как наименее затратным по вычислительным ресурсам. Для численного расчета данного интеграла выражение будет следующим:

$$S(f) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i \cdot e^{-j2\pi f i dt} dt, \quad (3.2)$$

где $dt = \frac{1}{f_s}$ – шаг квантования сигнала по времени;

f_s – частота квантования сигнала;

N – размер входного буфера для сигнала.

Если мы задали такой параметр как время анализа, то длина буфера определится как $t \cdot f_s$ при этом учитывая, что частота квантования обратно пропорциональна шагу квантования по времени. На основе этого мы и можем выбрать размер входного буфера для сигнала как:

$$N = \frac{t_2 - t_1}{dt} \quad (3.3)$$

Таким образом, для расчета спектрограммы на заданной частоте, нам, как и в уже описанном случае DSA, необходимо сохранять данные (мгновенные значения сигнала) во входной кольцевой буфер. Однако мы не используем алгоритм БПФ, а непосредственно рассчитываем значение спектрограммы на нужной частоте.

В предложенном методе на каждой итерации сбора данных для каждой частоты необходимо полностью вычислять интеграл Фурье. Эту процедуру можно оптимизировать. Учтем, что спектр вычисляем в интересующем нас диапазоне частот от $f_{\text{нижняя}}$ до $f_{\text{верхняя}}$ разбивая этот диапазон частот на заданное число интервалов. Для этого необходимо создать массив для сохранения данных спектрограммы длиной, равной числу интервалов в анализируемой полосе частот. Зная такие параметры расчета как верхняя и нижняя частоты диапазона, длина массива для сохранения спектрограммы, шаг квантования по времени, число итераций мгновенных значений сигнала (длина входного буфера), а также зная мгновенное значение оцифрованного сигнала, мы можем прочесть спектрограмму не используя входной буфер для сохранения данных сигнала. Считать спектрограмму можно рекурсивно путем суммирования результатов расчета в текущий момент времени с предыдущим результатом расчета:

$$(S_i) = S \cdot \frac{N - 1}{N} + S_i \cdot \frac{1}{N} \quad (3.4)$$

В данном методе, с позиции цифровой обработки сигналов, мы пропускаем сигнал через набор фильтров с бесконечной импульсной

характеристикой. Используя физическую аналогию, мы создали набор из n фильтров (n - число точек в спектрограмме) резонансная частота каждого фильтра равна той частоте, на которой мы хотим получить значение спектрограммы. При этом сигнал мы распараллеливаем и одновременно подаем на вход каждого из этих фильтров. Уровень сигнала на выходе каждого фильтра соответствует уровням спектрограммы на резонансной частоте этого фильтра. Вышесказанное запишем в виде алгоритма.

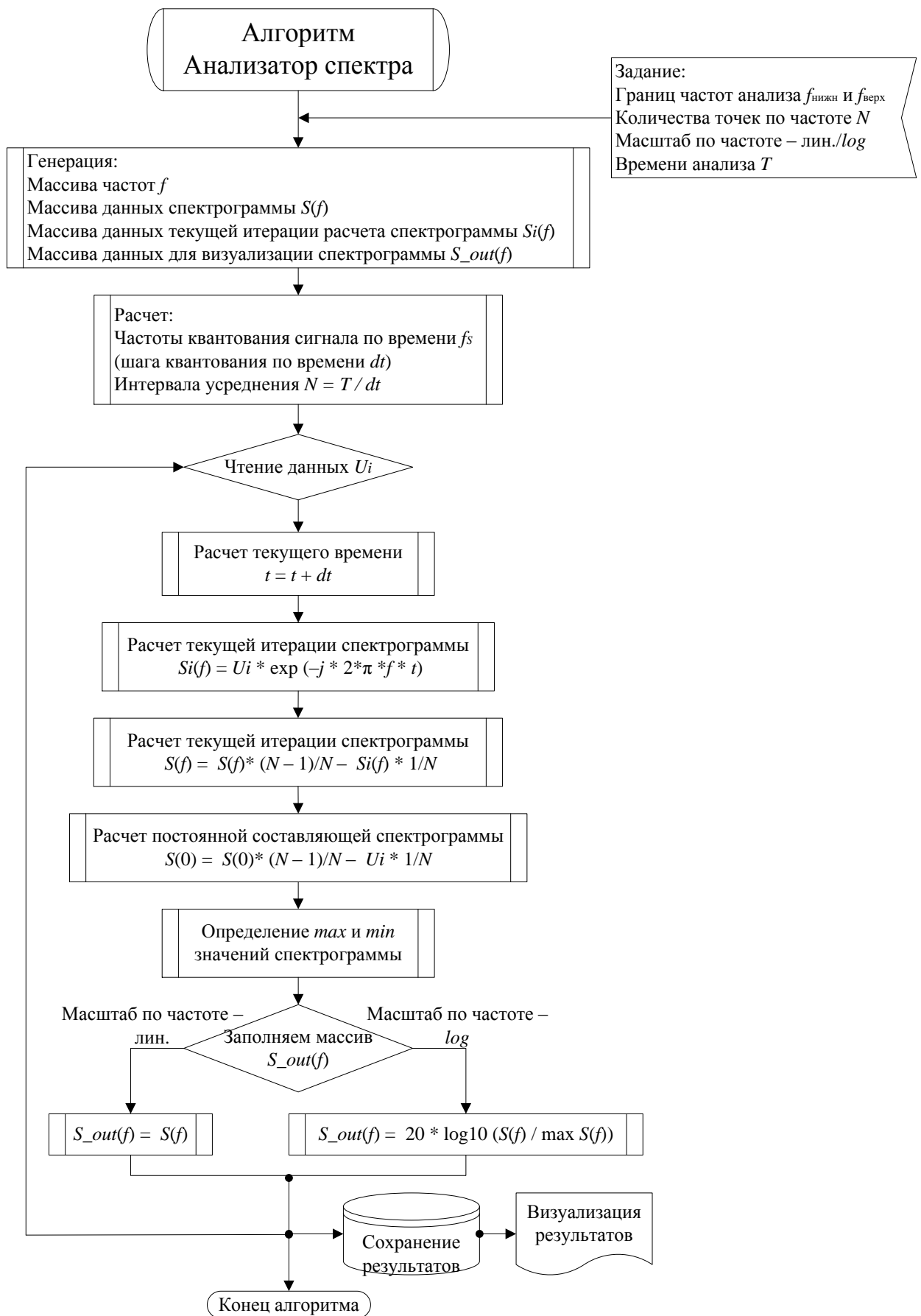


Рисунок 3.3 – Алгоритм анализатора спектра на основе интеграла Фурье

Таким образом, нами предложен алгоритм цифрового параллельного анализатора спектра. Этот алгоритм в дальнейшем будет реализован в виде виртуального прибора для программно-аппаратной среды NI ELVIS. В работе мы протестировали данный алгоритм, реализовав его в математическом пакете MatLab. Листинг программы в среде MatLab приведен в приложении Б.

3.4 Сравнение анализатора спектра на основе интеграла Фурье и DSA

3.4.1 Описание установки

С целью исследования функциональных возможностей анализаторы спектра DSA и отмеченные ранее особенности данного прибора был проведен эксперимент. Параллельно нами был проведен численный эксперимент по тестированию возможностей предложенного анализатора спектра на основе интеграла Фурье. Исходные параметры численного эксперимента дублировали соответствующие параметры натурного эксперимента. DSA в области верхних частот, правильность отображения спектрального состава тестового сигнала с известным спектром.

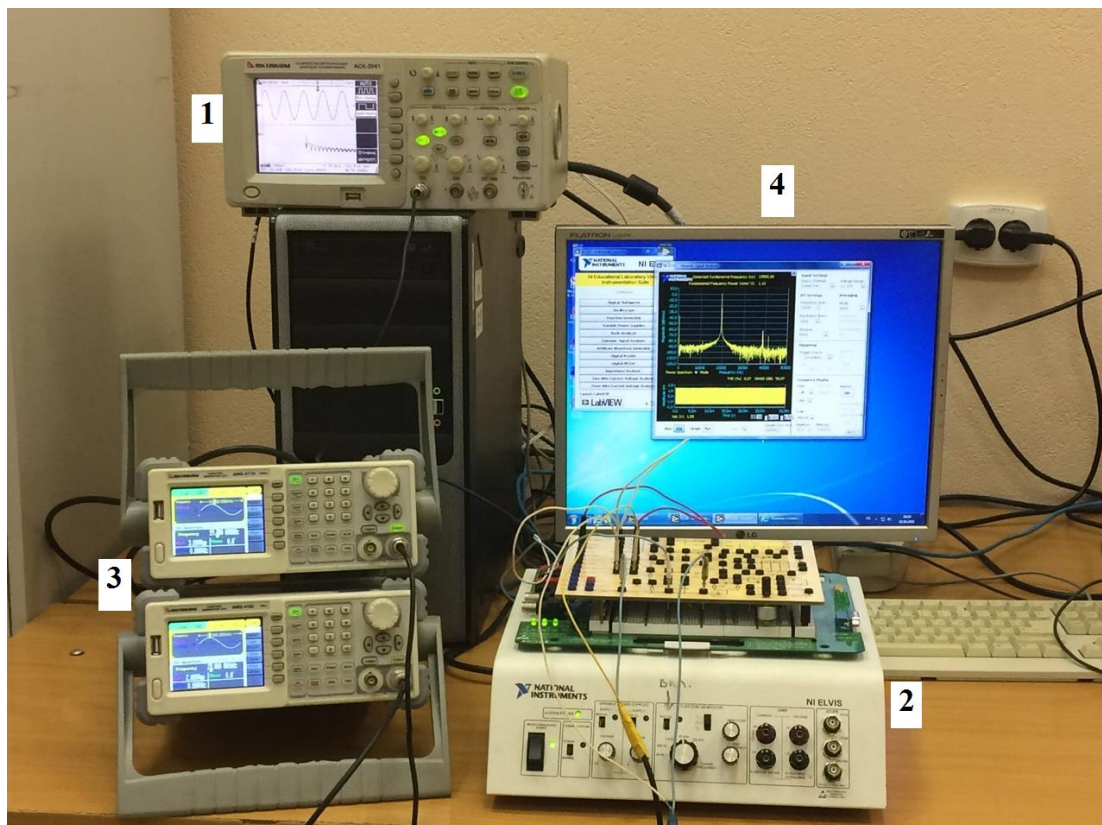
Целью эксперимента было определение разрешающей способности DSA.

Для натурного эксперимента нами была использована экспериментальная установка, имеющая следующий состав:

- ПК с установленным программным обеспечением NI ELVIS;
- рабочая станция с макетной платой NI ELVIS;
- функциональный генератор АКТАКОМ AWG-4105 (2 экземпляра);
- цифровой осциллограф АКТАКОМ АСК-2041;

Осциллограф АКТАКОМ имеет возможности по получению спектра отображаемого сигнала, так как его точностные характеристики существенно превосходят аналогичные характеристики NI ELVIS, мы выбрали этот прибор в качестве образцового средства измерения.

Внешний вид экспериментальной установки приведен на рисунке 3.4.



1 – осциллограф АКТАКОМ АСК-2041;

2 – настольная рабочая станция NI ELVIS; 3 – функциональный генератор

АКТАКОМ АУГ – 4105; 4 – виртуальный прибор NI ELVIS

Рисунок 3.4 – Схема размещения компонентов экспериментальной установки

3.4.2 Ход эксперимента

Эксперимент №1. Определение разрешающей способности DSA верхней области шкалы

Целью данного эксперимента являлось определение разрешающей способности анализатора спектра DSA верхней части частотной шкалы.

С этой целью мы установили верхнюю границу частотного диапазона DSA на уровне 50кГц, количество точек на спектрограмме выбрали равной 1600. Масштаб отображения спектрограммы по вертикали – автоматически, децибелы.

На вход АС подавались два синусоидальных сигнала с выходов генераторов. Параметры первого сигнала были неизменны и составляли:

- форма сигнала – синусоидальная;
- частота – 40кГц;
- амплитуда – 1В;

Параметры второго сигнала были аналогичны. в ходе эксперимента частота второго сигнала повышалась до тех пор, пока на экране АС не отображалось две четко разделенных частотных составляющих.

Снимок экрана АС DSA представлен на рисунке 3.5.

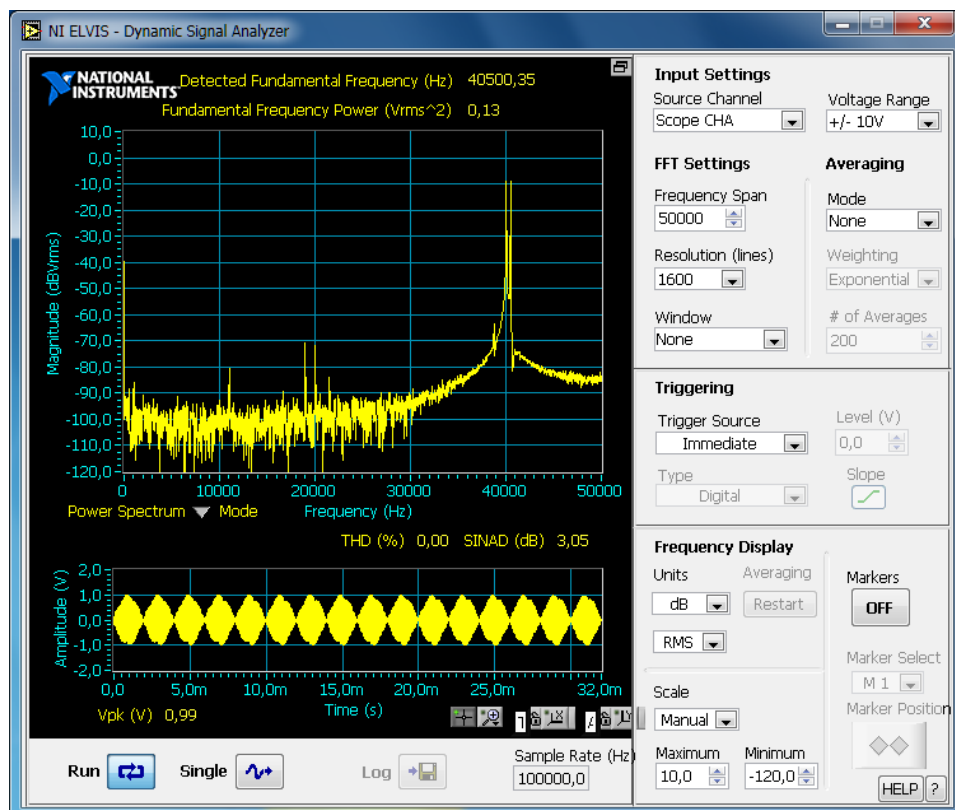


Рисунок 3.5 – Снимок экрана анализатора спектра DSA

Одновременно этот же составной сигнал и его спектр мы наблюдали на экране осциллографа.

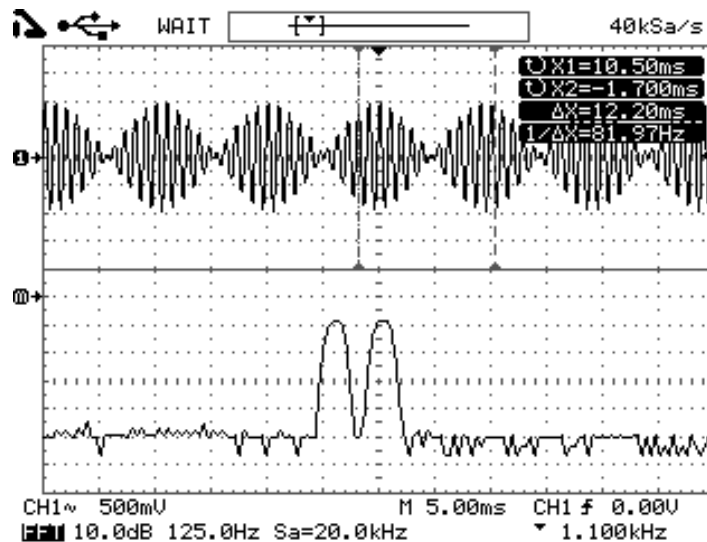


Рисунок 3.6 – Снимок экрана осциллографа

Из осциллограммы видно, что поскольку сигнал состоит из двух гармонических сигналов с гармоническими частотами он имеет форму биений. Наличие двух частотных компонент четко видно на спектрограмме. Визуальное разделение спектрограммы на две составляющие произошло при частоте второго сигнала в 40,5 кГц, то есть разница частот между сигналами составила 500 Гц, что соответствует 1% от частотного диапазона DSA.

Далее в аналогичных условиях был протестирован созданный нами программный анализатор спектра. Для данного численного эксперимента мы сформировали два тестовых синусоидальных сигнала. Частота квантования выбрана в соответствии с анализатором спектра DSA, то есть 100 кГц. Сигналы имели одинаковую амплитуду 1В, частота первого сигнала равна 40 кГц, второго – 40,5 кГц. Итоговый составной сигнал представлен на рисунке 3.7.

Из рисунка 3.7 видно, что составной сигнал также имеет вид биений, при этом, так как частота квантования сопоставима с частотой сигнала (в 2,5 раза выше), итоговый сигнал сильно искажен. Спектр данного составного сигнала представлен на рисунке 3.8.

На данной спектрограмме также можно выделить две частотные составляющие, то есть в области верхних частот разрешающая способность алгоритма нашего анализатора спектра сопоставима с таковой у DSA.

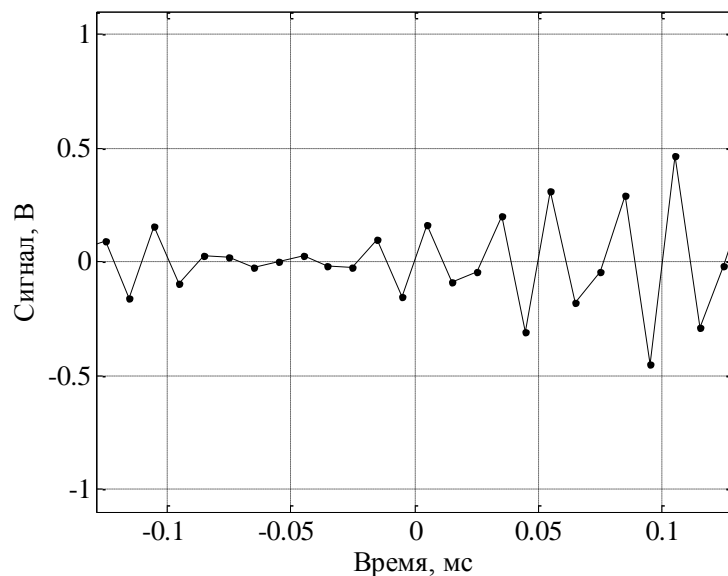


Рисунок 3.7 – Временная диаграмма составного сигнала

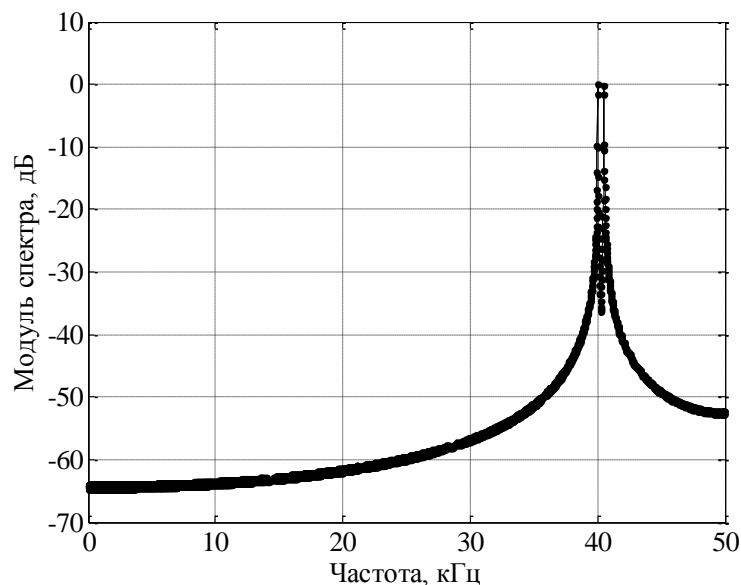


Рисунок 3.8 – Спектр составного сигнала

Эксперимент №2. Определение разрешающей способности DSA нижней области шкалы

Аналогичный эксперимент был проведен и для определения разрешающей способности приборов нижней части шкалы.

Настройки анализатора спектра DSA остались такими же, как и в предыдущем опыте. Частота первого генератора составляла 1 кГц. Как и в предыдущем опыте, частота второго генератора плавно увеличивалась с 1 кГц до тех пор, пока мы не увидели четкого разделения спектральных компонент на спектрограмме.

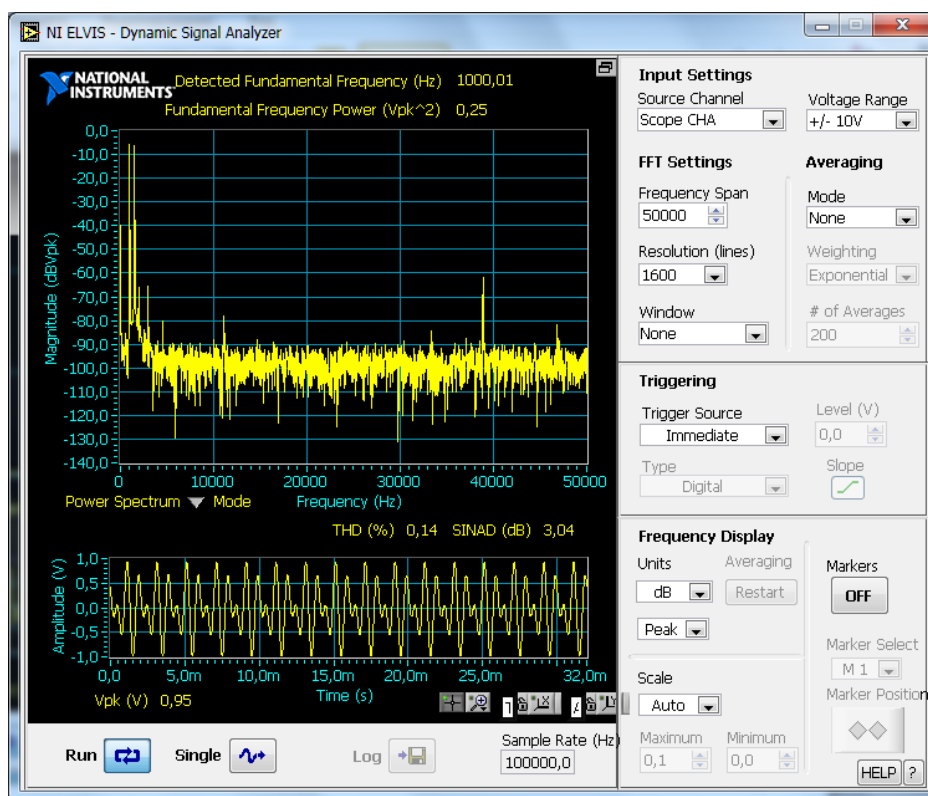


Рисунок 3.9 – Снимок экрана анализатора спектра DSA

Этот составной сигнал мы так же наблюдали на экране осциллографа, который представлен на рисунке 3.10.

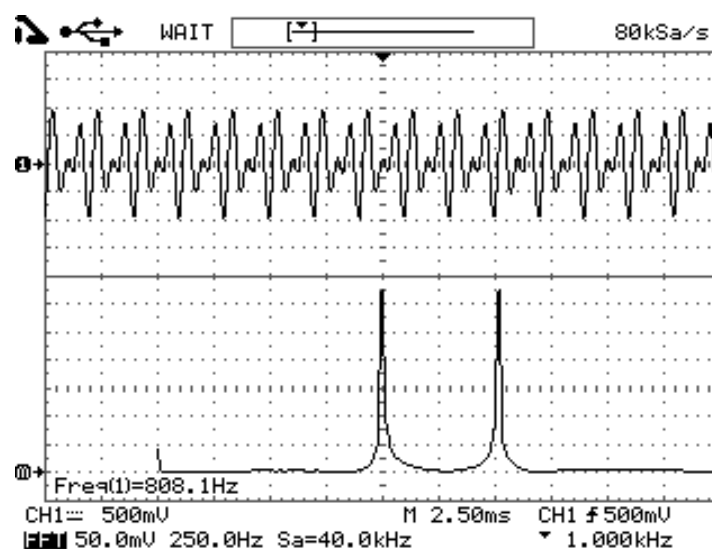


Рисунок 3.10 – Осциллограмма и спектр составного сигнала

Как видим, составной сигнал так же представляет собой биение. А разрешающая способность для DSA осталась неизменной и составляет 500 Гц, либо 1% от верхней границы частотного диапазона.

В численном эксперименте мы также брали частоту квантования тестовых сигналов в 100 кГц, частоты тестовых сигналов соответствовали натурному эксперименту, то есть 1 кГц и 1,5 кГц. Временная диаграмма составного сигнала приведена на рисунке 3.11.

Визуально сигнал довольно плавный, так как частота квантования в 100 раз выше, чем частота тестового сигнала. Соответствующая этому сигналу спектрограмма представлена на рисунке 3.12.

Как видно из графика, с помощью использования логарифмической шкалы частот, частотные компоненты сигналов четко разделены, следовательно, для определения разрешающей способности, нам необходимо частоту второго тестового сигнала приблизить к частоте первого.

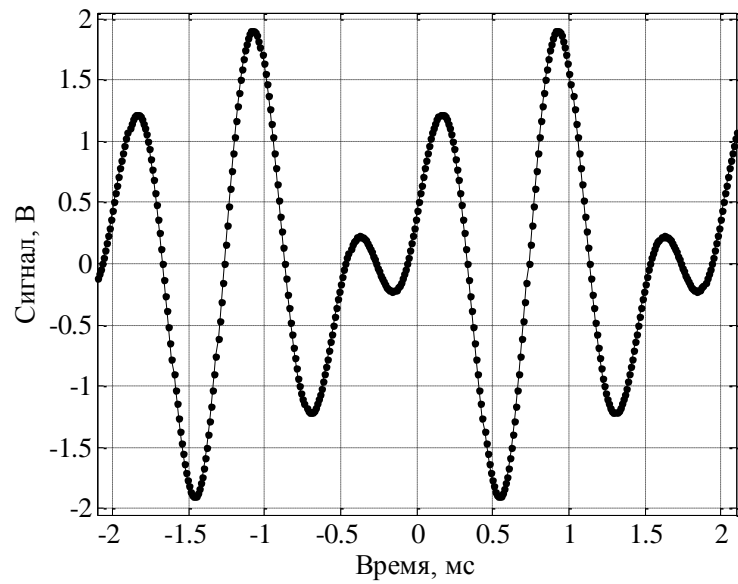


Рисунок 3.11 – Временная диаграмма

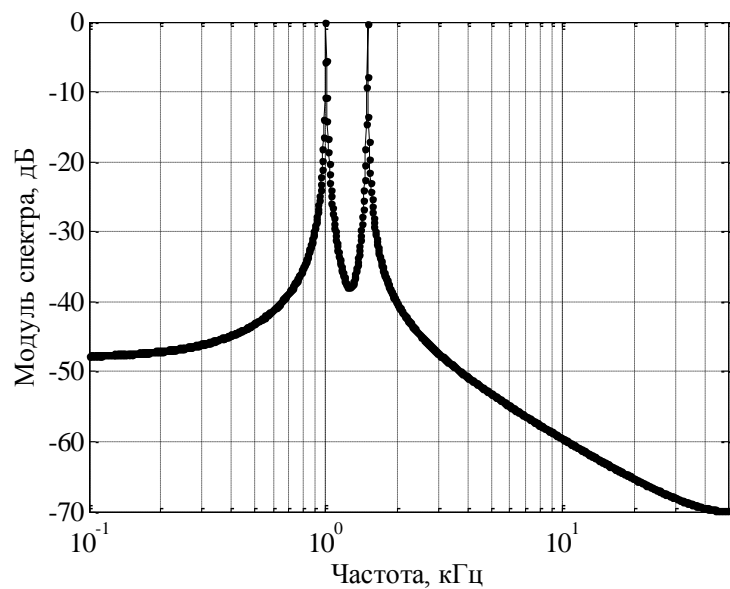


Рисунок 3.12 – Спектрограмма тестового сигнала

Следующий опыт показал, что в этом случае минимальная разница между частотами сигналов, при которой их частотные компоненты различимы на спектрограмме и составляют 50 Гц или около 0,1 % от верхней границы частотного диапазона.

Временная диаграмма составного сигнала приведена на рисунке 3.13, а спектрограмма на рисунке 3.14.

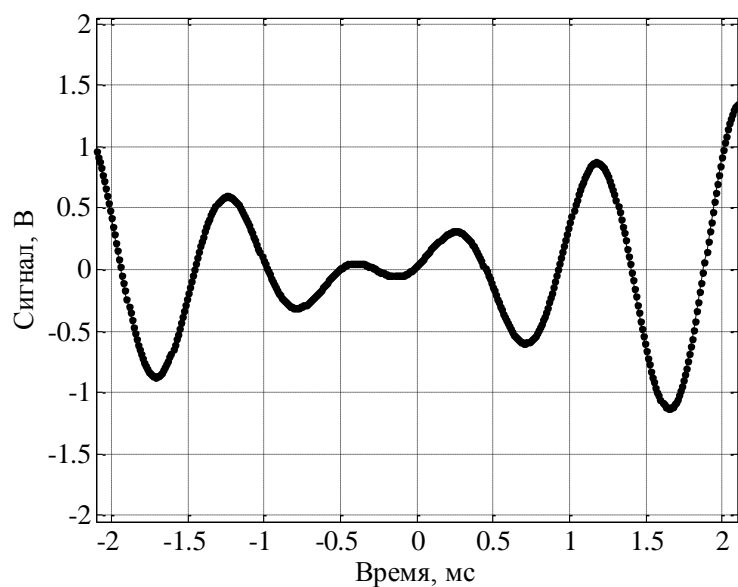


Рисунок 3.13 – Временная диаграмма тестового сигнала

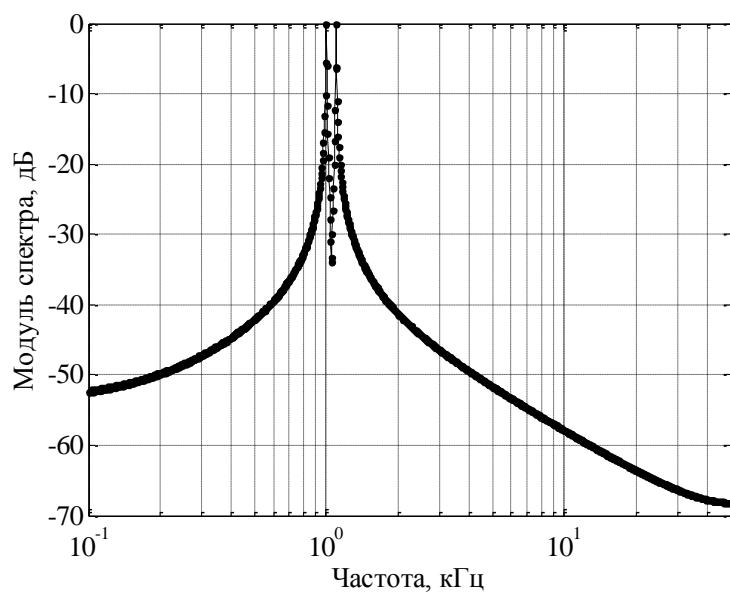


Рисунок 3.14 – Спектрограмма тестового сигнала

Аналогичный результат может быть получен при DSA при снижении верхней границы частотного диапазона до 3 кГц.

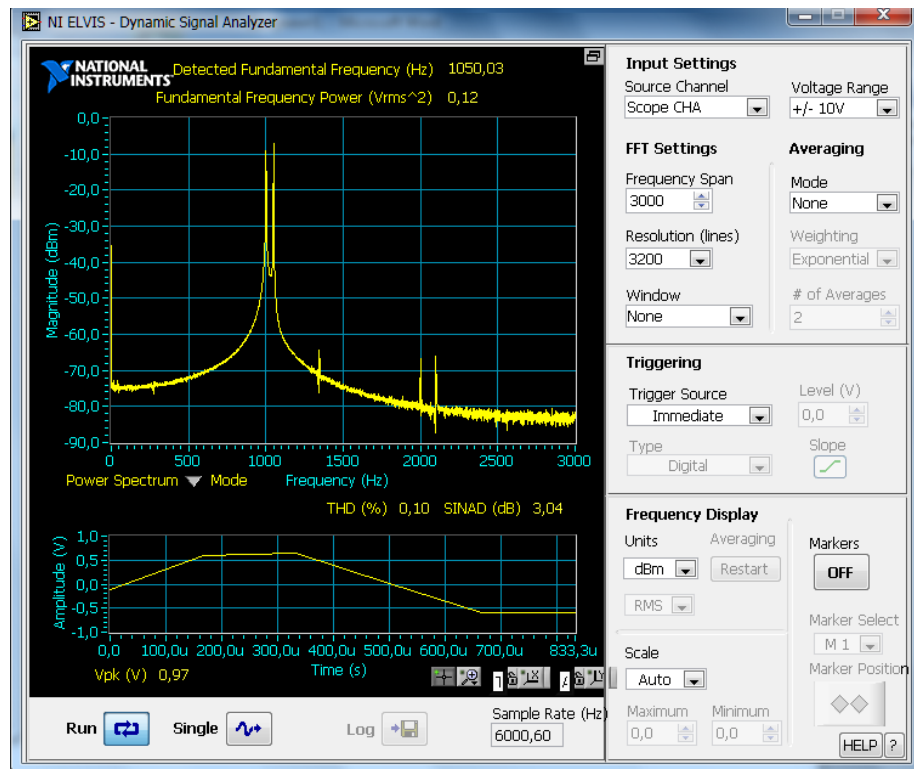


Рисунок 3.15 – Снимок экрана анализатора спектра DSA

Эксперимент №3. Определение спектра прямоугольного импульса

Корректность работы АС можно проверить, подавая на его вход тестовый сигнал сложной формы, спектр которого известен. В качестве такого сигнала мы выбрали периодическую последовательность прямоугольных импульсов. Для такого сигнала, зная частоту, скважность и амплитуду спектр может быть рассчитан по известным формулам.

Нами был выбран тестовый сигнал со следующими параметрами:

- амплитуда импульса в 1В;
- частота 1 кГц;
- скважность 5;

Осциллограмма этого сигнала приведена на рисунке 3.16. На этой же осциллограмме приведен и его спектр. Спектр сигнала, полученного с помощью DSA приведен на рисунке 3.17.

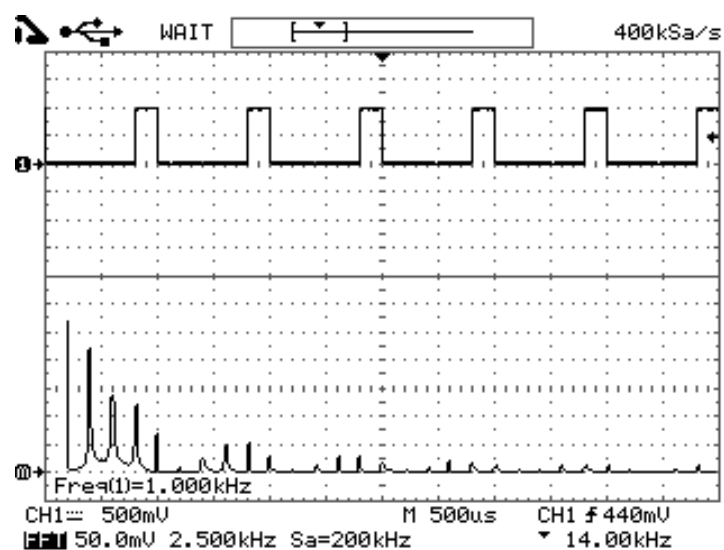


Рисунок 3.16 – Осциллограмма тестового сигнала

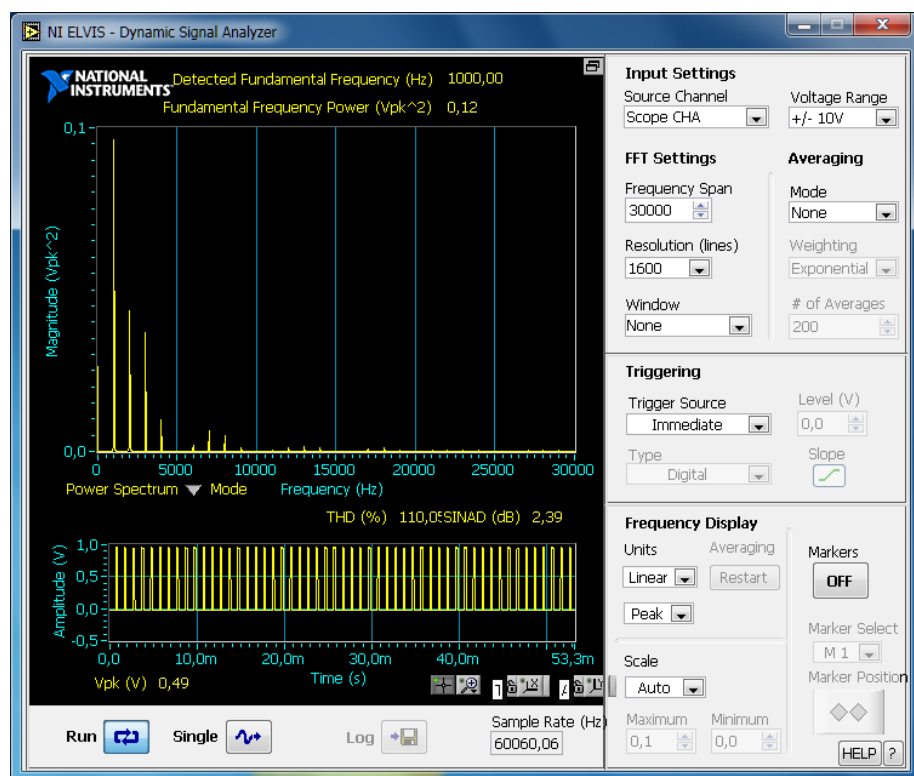


Рисунок 3.17 – Спектр тестового сигнала

Данный спектр визуально напоминает спектр прямоугольного импульса, но уровень спектральных компонент не соответствует действительности. Таким образом, тестовый сигнал имеет постоянную составляющую на уровне 0,2В. Уровень других спектральных компонент должен быть ниже, но на приведенной спектрограмме этого соотношения не наблюдается (рисунок 3.17).

Проведенный далее численный эксперимент показал следующие результаты. Исходно-временная диаграмма последовательности прямоугольных импульсов приведена на рисунке 3.18.

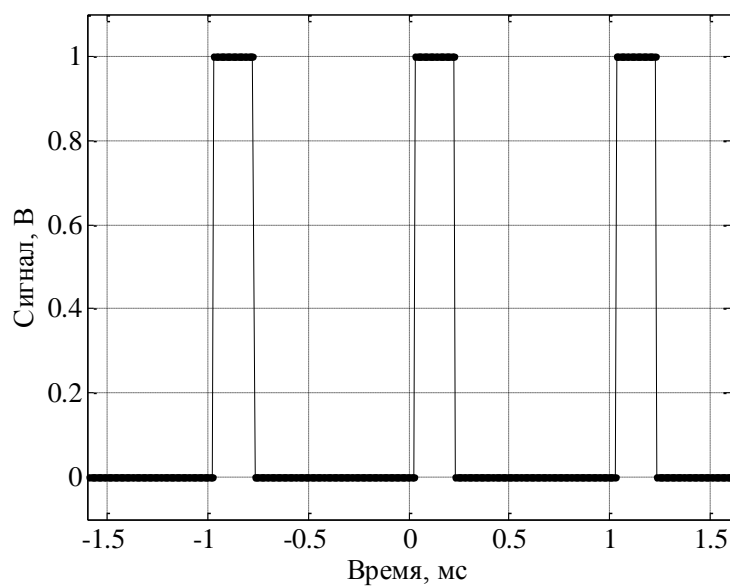


Рисунок 3.18 – Временная диаграмма последовательности прямоугольных импульсов

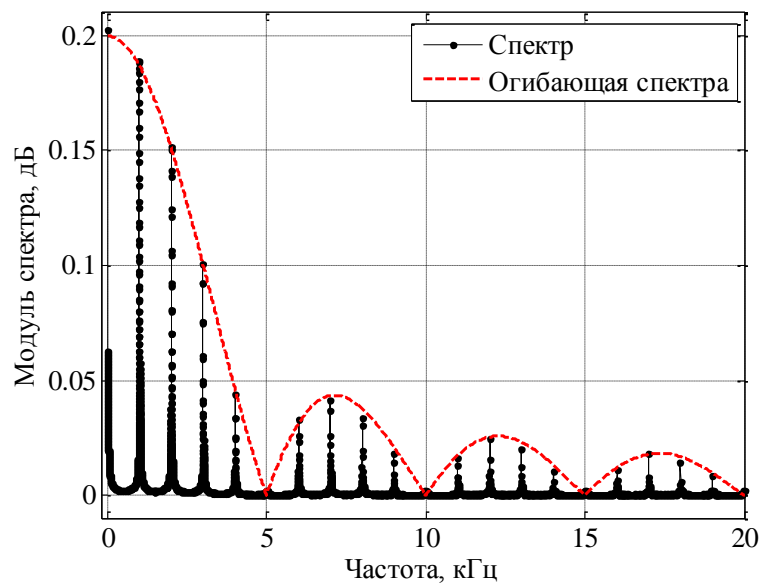


Рисунок 3.19 – Спектрограмма с огибающей спектра

Определенная с помощью разработанного алгоритма спектрограмма приведена на рисунке 3.19. На этом же рисунке красной пунктирной линией изображена огибающая спектра, рассчитанная по известным формулам.

Как видно, на данной спектрограмме спостоянная оставляющая сигнала составляет 0,2, что соответствует действительности, а уровень спектральных компонент совпадает с расчетными значениями. Таким образом, разработанный алгоритм спектрального анализа на основе интеграла Фурье, реализованный в виде параллельного цифрового АС адекватно отображает спектр тестового сигнала.

Итак, в настоящей главе предложен алгоритм реализации параллельного цифрового анализатора спектра на основе численного расчета интеграла Фурье. Он был реализован в программной среде MatLab. Также было произведено сравнение результатов спектрального анализа тестовых сигналов с АС из программно-аппаратной среды NI ELVIS.

Сравнение показало, что созданный нами программный анализатор спектра обладает лучшей разрешающей способностью, чем анализатор спектра

DSA. Спектр тестового сигнала, измеренный с его помощью соответствует расчетному.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

ВКР включает в себя обзор и построение алгоритмических основ цифровых анализаторов спектра. Следовательно, исследования, проведенные в рамках написания выпускной работы, не несут в себе особых денежных затрат.

Таким образом, в разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» будут рассмотрены следующие вопросы:

- определена структура работ в рамках научного исследования;
- проведен расчет трудоемкости выполнения работ;
- построен график проведения научного исследования;
- рассчитан бюджет научно-технического исследования (НТИ);
- проведена оценка научно-технической эффективности исследования

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для того чтобы определить потенциальных потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевым рынком выполненной работы являются научно-исследовательские институты (НИИ), так как исследования проводятся с целью измерения уровней и частот гармонических составляющих спектра периодических сигналов, а также спектральной плотности мощности стационарных случайных процессов.

Сегментом этого рынка являются исследовательские лаборатории.

4.2 SWOT- анализ

SWOT– Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 4.1 – Результаты первого этапа SWOT-анализа.

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Легкость в эксплуатации С2. Дешевизна комплектующих С3.Наличие бюджетного финансирования С4.Возможность применения в учебном процессе | Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл3 Недостаточная полнота исследований в рамках данной научной работы Сл4 Расширение возможностей виртуального прибора требует дополнительных программно-аппаратных средств |
| Возможности: В1.Использование сотрудниками ТПУ В2.Проведение физического эксперимента с применением новейших информационных технологий В3.Появление дополнительного спроса на новый продукт В4 Открывает перспективу дальнейших исследований | | |
| Угрозы: У1. Снижение спроса на продукт У2. Высокая конкуренция среди производителей | | |

| | | | |
|------------------------------------------------------|-----------------------------|--|--|
| У3 сложность продукта | Относительная реализации | | |
| У4 закупаемой продукции для разработки прибора | Рост стоимости | | |

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица проекта

| Сильные стороны проекта | | | | | |
|-------------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| Возможности проекта | | C1 | C2 | C3 | C4 |
| | B1 | + | + | - | + |
| | B2 | + | + | - | 0 |
| | B3 | + | + | - | - |
| | B4 | + | - | 0 | + |
| Слабые стороны проекта | | | | | |
| Возможности проекта | | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |
| | B1 | - | - | 0 | + |
| | B2 | 0 | + | - | + |
| | B3 | - | - | 0 | + |
| | B4 | + | - | | |
| Сильные стороны | | | | | |

| проекта | | | | | |
|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| Угрозы проекта | | C1 | C2 | C3 | C4 |
| | У1 | - | - | 0 | + |
| | У2 | + | + | - | + |
| | У3 | 0 | + | - | + |
| | У4 | - | 0 | - | + |
| Слабые стороны проекта | | | | | |
| Угрозы проекта | | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |
| | У1 | - | - | 0 | - |
| | У2 | - | 0 | - | 0 |
| | У3 | + | - | 0 | + |
| | У4 | - | - | 0 | + |

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 4.3).

Таблица 4.3 - Итоговая SWOT-таблица

| | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Доступность комплектующих для разработки данного виртуального прибора С2. Сокращение времени работы С3. Наличие бюджетного финансирования. С4. Квалифицированный персонал. | Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой. Сл3. Не достаточная полнота исследований в рамках данной работы Сл4 Относительная сложность с внедрением продукта |
| Возможности: В1. Использование сотрудниками ТПУ В2. Использование сотрудниками ЦСМ и различных метрологических центров В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт В4. Повышение стоимости конкурентных разработок. | Усовершенствование данного прибора для внедрения его на рынок | Испытание в работе и получение положительных заключений; Доработка, усовершенствование продукта |
| Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства | Поиск компаний-партнеров для внедрения виртуального прибора | Продвижение продукта с акцентированием на достоинствах |

| | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства. | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

4.3 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научного исследования была создана рабочая группа, в которую вошли научный руководитель (НР) и непосредственно студент (С), выполняющий написание магистерской ВКР.

В данном подразделе был создан перечень работ и отдельных этапов в рамках проведения исследования, а также приведены исполнители по каждому виду работ. Данный перечень представлен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Перечень работ, этапов и распределение исполнителей

| Основные этапы | Номер работы | Содержание работ | Исполнитель |
|---------------------------------|--------------|---------------------------------------------------|-------------|
| Разработка технического задания | 1 | Составление и утверждение темы проекта | НР |
| Выбор направления исследования | 2 | Анализ актуальности и новизны темы проекта | С |
| | 3 | Поиск и изучение теоретического материала по теме | НР, С |
| | 4 | Определение направления исследований | НР, С |
| Основные этапы | Номер работы | Календарное планирование работ | С |
| Теоретические и | 5 | Обзор литературы по теме | С |

| | | | |
|--------------------------------|----|---------------------------------------------|-------|
| экспериментальные исследования | 6 | Подбор нормативных документов | С |
| | 7 | Анализ использующихся средств и методов | С |
| | 8 | Обработка результатов | С |
| Обобщение и оценка результатов | 9 | Оценка эффективности полученных результатов | НР, С |
| | 10 | Подведение итогов | С |

4.3 Определение трудоемкости выполнения работ

Определение трудоемкости выполнения работ для каждого исполнителя является важным моментом, так как трудовые затраты чаще всего являются основной частью стоимости проведенного исследования.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожі}$ рассчитывали по формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (4.1)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемое значение трудоемкости выполнения работы, чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость заданной работы, чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость заданной работы, чел.-дн.

Исходя из полученных значений $t_{ожі}$, рассчитывается продолжительность каждого вида работы в рабочих днях T_p по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (4.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$ч_i$ – численность исполнителей, одновременно выполняющих одну и ту же работу на определенном этапе, чел.

4.4 Составление графика проведения научного исследования

В качестве графика проведения научного исследования использовалась диаграмма Ганта, так как она является наиболее наглядным и удобным способом построения ленточного графика.

Для удобства разработки графика необходимо перевести длительность каждого этапа работ из рабочих дней в календарные. Продолжительность выполнения работы в календарных днях T_{Ki} рассчитывается по формуле:

$$T_{Ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (4.3)$$

где $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности в свою очередь рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (4.4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

В соответствии с производственным календарем на 2018 год праздничных дней – 14, выходных дней при шестидневной рабочей неделе – 59. Таким образом, получили значение $k_{\text{кал}} = 1,25$.

Все рассчитанные значения были занесены в таблицу 4.5.




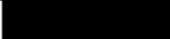


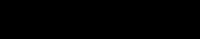






Таблица 4.5 – Временные показатели проведения НТИ

| Номер работы | Исполнители | Трудоемкость работ | | | Длительность работ в рабочих днях T_{pi} , раб.дн. |
|--------------|-------------|----------------------|----------------------|---------------------|------------------------------------------------------|
| | | t_{min} , чел.-дн. | t_{max} , чел.-дн. | $t_{ож}$, чел.-дн. | |
| 1 | НР | 4 | 7 | 5,2 | 5,2 |
| 2 | С | 3 | 10 | 6,4 | 6,4 |
| 3 | НР | 10 | 15 | 12 | 12 |
| | С | 15 | 24 | 18,6 | 18,6 |

| | | | | | |
|--------|----|----|----|------|------|
| 4 | НР | 5 | 7 | 5,8 | 5,8 |
| | С | 5 | 7 | 5,8 | 5,8 |
| 5 | С | 20 | 25 | 22 | 22 |
| 6 | С | 14 | 16 | 14,8 | 14,8 |
| 7 | С | 7 | 10 | 8,2 | 8,2 |
| 8 | С | 3 | 5 | 3,8 | 3,8 |
| 9 | НР | 4 | 5 | 4,4 | 4,4 |
| | С | 4 | 5 | 4,4 | 4,4 |
| 10 | С | 12 | 14 | 12,8 | 12,8 |
| ИТОГО: | | | | НР | 27,4 |
| | | | | С | 96,8 |

На основании таблицы 4.5 был построен календарный план-график. Данный график строится для наибольшего по длительности исполнения работ в рамках исследовательской работы на основании таблицы 4.6 с разбиением по месяцам, а затем по декадам за период времени написания выпускной работы.

Таблица 4.6 – Календарный план-график

| Номер работ | Исполнитель | Тр. раб.дн. | Сроки выполнения работ | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | февраль | | | март | | | | апрель | | | | май | | | |
| | | | 1 нед еля | 2 нед еля | 3 нед еля | 4 неде ля | 5 нед еля | 6 нед еля | 7 нед еля | 8 неде ля | 9 нед еля | 10 неде ля | 11 нед еля | 12 нед еля | 13 нед еля | 14 нед еля | 15 нед еля |
| 1 | НР | 5,2 |  | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | С | 6,4 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | НР | 12 | | |  | | | | | | | | | | | | |
| | С | 18,6 | | |  | | | | | | | | | | | | |
| 4 | НР, | 5,8 | | | | |  | | | | | | | | | | |
| | С | 5,8 | | | | |  | | | | | | | | | | |
| 5 | С | 22 | | | | | | |  | | | | | | | | |
| 6 | С | 14,8 | | | | | | | | | |  | | | | | |
| 7 | С | 8,2 | | | | | | | | | | | |  | | | |
| 8 | С | 3,8 | | | | | | | | | | | | | |  | |
| 9 | НР | 4,4 | | | | | | | | | | | | | |  | |
| | С | 4,4 | | | | | | | | | | | | | |  | |
| 10 | С | 12,8 | | | | | | | | | | | | | | |  |

При этом на графике работы для научного руководителя выделены косой штриховкой, а студента – сплошной заливкой.

4.6 Определение бюджета научно-технического исследования

Планируя бюджет научно-технического исследования (НТИ), необходимо обеспечить достоверное и полное отражение всех видов расходов, которые связаны с его выполнением. Для определения бюджета НТИ в рамках выполнения ВКР с учетом выбранного направления исследования и исполнителей работ были рассчитаны следующие виды затрат:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

– накладные расходы.

4.6.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

В рамках расчета материальных затрат НТИ должны быть учтены:

- приобретаемые сырье и материалы, необходимые для создания продукции;
- покупаемые материалы, необходимые для поддержания нормального технологического процесса;
- затраты на дополнительные комплектующие;
- сырье, материалы, различные комплектующие изделия, применяемые в качестве объектов исследования;
- затраты на канцелярские принадлежности.

Так как исследование в рамках выполнения ВКР включает в себя лишь аналитический обзор, а также использование определенного метода на конкретном примере, то оно предусматривает затраты лишь на канцелярские принадлежности. А именно, в ходе выполнения работы была приобретена пачка бумаги формата А4 и заправлен картридж для принтера.

Материальные затраты Z_M на i -й материальный ресурс рассчитывается по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m (C_i \cdot N_{\text{расх}i}) \quad (4.5)$$

где k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы;

m – количество видов материальных ресурсов, используемых для выполнения научного исследования;

C_i – цена на приобретение материального ресурса;

$N_{расхi}$ – количество материального ресурса, которое планируется для использования при выполнении научного исследования.

Значения цен были взяты на основании чеков после приобретения соответствующего вида продукции.

После проведения расчетов материальных затрат результаты занесли в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Материальные затраты

| Наименование | Единица измерения | Количество | Цена за ед., руб. | Затраты на материалы $З_M$, руб. |
|-------------------------|-------------------|------------|-------------------|-----------------------------------|
| Заправка картриджа | шт. | 1 | 250 | 250 |
| Пачка бумаги формата А4 | шт. | 1 | 200 | 200 |
| Итого | | | 450 | 450 |

4.6.2 Расчет основной заработной платы исполнителей темы

В рамках данной статьи рассчитывается основная заработная плата для всех исполнителей, участвующих в проведении НТИ. Величина расходов по заработной плате рассчитывается на основании трудоемкости выполняемых работ, а также действующей системы тарифных ставок и окладов.

Заработная плата участников выполнения НТИ учитывает как основную заработную плату, так и дополнительную и рассчитывается по формуле:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} \quad (4.6)$$

где $З_{осн}$ – величина основной заработной платы;

$З_{доп}$ – величины дополнительной заработной платы, принятая за 15 % от основной заработной платы.

В свою очередь основная заработная плата одного исполнителя от предприятия рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

где $З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

T_p – продолжительность работ, которые выполняются исполнителем, раб.дн.

Среднедневная заработная плата $З_{\text{дн}}$ определяется по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} \quad (4.8)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад, руб.;

M – количество месяцев работы исполнителя без отпуска за период года: при шестидневной рабочей неделе и отпуске в 48 рабочих дней значение M составляет 10,4 месяца;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Для расчета действительного годового фонда рабочего времени была заполнена таблица 4.8.

Таблица 4.8 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени | НР | С |
|-----------------------------------|-----|-----|
| Календарное число дней | 365 | 365 |
| Количество нерабочих дней: | | |
| - выходные дни; | 59 | 59 |
| - праздничные дни | 14 | 14 |
| Потери рабочего времени: | | |
| - отпуск; | 48 | 48 |
| -невыходы по болезни | - | - |
| Действительный годовой фонд | 244 | 244 |

| | | |
|------------------|--|--|
| рабочего времени | | |
|------------------|--|--|

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (4.9)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 10 % от заработной платы по тарифной ставке;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, принятый за 20 % от заработной платы по тарифной ставке;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, для Томска принятый за 1,3.

По результатам расчетов была заполнена таблица 4.9.

Таблица 4.9 – Расчет основной заработной платы

| Исполнители | $k_{\text{пр}}$ | $k_{\text{д}}$ | $k_{\text{р}}$ | $З_{\text{м}}$, руб | $З_{\text{дн}}$, руб | $T_{\text{р,раб.дн}}$ | $З_{\text{осн}}$, руб. |
|-------------|-----------------|----------------|----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| НР | 0,1 | 0,2 | 1,3 | 33664 | 1355,8 | 27,4 | 37148,9 |
| С | 0,1 | 0,2 | 1,3 | 9489 | 382,1 | 97 | 37063,7 |
| Итого | | | | | | | 74212,6 |

На основе таблицы 4.9 рассчитана итоговая сумма, которая составила 74212,6 рублей.

4.6.3 Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы

Дополнительная заработная плата учитывает величину доплат за отклонения от нормальных условий труда, предусмотренных Трудовым кодексом Российской Федерации, а также выплаты, связанные с обеспечением компенсаций и гарантий.

Дополнительная заработная плата $З_{\text{доп}}$ рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (4.10)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,12.

В результате получили следующие значения:

$$З_{\text{доп(НР)}} = 4457,8 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{доп(С)}} = 4447,6 \text{ руб.}$$

4.6.4 Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Данная статья расходов отражает обязательные отчисления по нормам, установленным законодательством Российской Федерации, органам пенсионного фонда, государственного социального страхования, медицинского страхования, а также затраты на оплату труда работников.

Отчисления во внебюджетные фонды $З_{\text{внеб}}$ рассчитываются по формуле:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.11)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент уплаты во внебюджетные фонды, принятый равным 30% .

Величина отчислений во внебюджетные фонды представлена в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель | $З_{\text{осн}}$, руб. | $З_{\text{доп}}$, руб | $k_{\text{внеб}}$ | $З_{\text{внеб}}$, руб |
|-------------|-------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|
| НР | 37148,9 | 4457,8 | 0,3 | 12482 |
| С | 37063,7 | 4447,6 | 0,3 | 12453,4 |
| Итого | 74212,6 | 8905,4 | | 24935,4 |

4.6.5 Расчет накладных расходов

В накладные расходы должны быть включены те затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов: оплата электроэнергии, услуг связи, размножение материалов, печать и копирование материалов и т.д.

Накладные расходы $Z_{\text{накл}}$ рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.12)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент накладных расходов, взятый в размере 16 %.

Получили следующие значения:

$$Z_{\text{накл(НР)}} = 8654,2 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{накл(С)}} = 8634,4 \text{ руб.}$$

4.6.6 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования

Полученная в результате величина затрат на научно-исследовательскую работу является базой для формирования бюджета затрат на проект. Определение бюджета затрат на НТИ представлено в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расчет бюджета затрат НТИ

| Наименование статьи | Сумма, руб. | | Номер пункта |
|--------------------------------------------------------------|-------------|---------|----------------------|
| | НР | С | |
| Материальные затраты НТИ | | 450,00 | 5.4.1 |
| Затраты по основной заработной плате исполнителей темы | 37148,9 | 37063,7 | 5.4.2 |
| Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 4457,8 | 4447,6 | 5.4.3 |
| Отчисления во внебюджетные фонды | 12482 | 12453,4 | 5.4.4 |
| Накладные расходы | 8654,2 | 8634,4 | 5.4.5 |
| Бюджет затрат НТИ | 62742,9 | 63049,1 | Сумма статей с 5.4.1 |

| | | | |
|--------|--|--|-------------|
| | | | по 5.4.5 |
| Итого: | | | 125792 руб. |

На основе данных, полученных в таблице, выявлена итоговая плановая себестоимость, которая составила 125792 рублей.

4.7 Оценка научно-технической эффективности исследования

В рамках эффективности исследования стоит отметить научную значимость. Научно-технический уровень характеризует влияние проекта на уровень и динамику обеспечения научно-технического прогресса в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод балльных оценок. Балльная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям. На ее основе делается вывод о целесообразности НИР.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется интегральный показатель (индекс) ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i,$$

где $K_{НТУ}$ – интегральный индекс научно-технического уровня; R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта (таблица 4.12); n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах (таблицы 4.13 – 4.15 содержат критерии оценки рассматриваемых признаков).

Таблица 4.12 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

| Признаки научно-технического эффекта НИР | Характеристика признака НИР | Ri |
|------------------------------------------|-----------------------------|----|
|------------------------------------------|-----------------------------|----|

| | | |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Уровень новизны | Систематизируются и обобщаются сведения, определяются пути дальнейших исследований | 0,4 |
| Теоретический уровень | Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.) | 0,1 |
| Возможность реализации | Время реализации в течение первых лет | 0,5 |

Таблица 4.13 – Баллы для оценки уровня новизны

| Уровень новизны | Характеристика уровня новизны – n1 | Баллы |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Принципиально новая | Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ | 8 – 10 |
| Новая | По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты | 5 – 7 |
| Относительно новая | Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами | 2 – 4 |
| Не обладает новизной | Результат, который ранее был известен | 0 |

Таблица 4.14 – Баллы значимости теоретических уровней

| Теоретический уровень полученных результатов – n2 | Баллы |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Установка закона, разработка новой теории | 10 |
| Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ взаимодействия между факторами с наличием объяснений | 8 |
| Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.) | 6 |
| Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций) | 2 |
| Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений | 0,5 |

Таблица 4.15 – Возможность реализации результатов по времени

| Время реализации – n3 | Баллы |
|-----------------------|-------|
| В течение первых лет | 10 |
| От 5 до 10 лет | 4 |
| Свыше 10 лет | 2 |

Результаты оценок признаков научно-технического уровня приведены в таблице 4.16 .

Таблица 4.16 – Количественная оценка признаков НИР

| Признак научно-технического эффекта НИР | Характеристика признака НИР |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| Уровень новизны | Новая |
| Теоретический уровень | Элементарный анализ связей между фактами |
| Возможность реализации | В течение первых лет |
| Масштабы реализации | Отрасль |

Баллы по параметрам времени и масштабам реализации при расчете складываются.

Исходя из оценки признаков НИР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$$K_{\text{нту}} = 0,4 \cdot 6 + 0,1 \cdot 6 + 0,5 \cdot 10 = 8.$$

Таким образом, исходя из данных в таблице 4.17, данный проект имеет высокий уровень научно-технического проекта.

Таблица 4.17 – Качественные уровни НИР

| Уровень НТЭ | Показатель НТЭ |
|-------------|----------------|
| Низкий | 1-4 |
| Средний | 4-7 |
| Высокий | 8-10 |

Для данного исследования частные оценки уровня n_i и их краткое обоснование даны в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Оценки научно-технического уровня НИР

| Значимость | Фактор НТУ | Уровень фактора | Выбранный балл | Обоснование выбранного балла |
|------------|------------------------|----------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------|
| 0,4 | Уровень новизны | Новая | 6 | Позволяет оптимизировать процедуру анализа сейсмических данных |
| 0,1 | Теоретический уровень | Разработка способа | 6 | Разработка алгоритма сравнения для поиска оптимального решения. |
| 0,5 | Возможность реализации | В течение первых лет | 10 | Быстрое внедрение и переход к эксплуатации |

Вывод:

При разработке научно-технического проекта были определены основные и требуемые технико-экономические показатели, такие как количество исполнителей, сроки и продолжительность исполнения, себестоимость программного продукта и эффективность проекта в целом. При планировании и организации НИР составлен перечень работ, необходимых для достижения поставленной цели. По предварительным расчетам себестоимость продукта составила 125792 рубля. В результате оценки научно-технической эффективности проекта был сделан вывод о высоком уровне эффективности.

5 Социальная ответственность

Социальная ответственность – раздел магистерской работы, который освещает вопросы безопасности труда, затрагивает область защиты окружающей среды от вредных воздействий исследований. В условиях производственной деятельности безопасность сотрудника обеспечивается ограничением уровней воздействия на него вредных и опасных факторов производственной среды и трудового процесса нормативными значениями, либо полным исключением этих видов воздействия.

Исследования проводились в лаборатории Томского политехнического университета, специально оборудованной для этих целей. Целью работы является составление алгоритмических основ построения цифровых анализаторов спектра.

Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером и экспериментальной установкой. Работа производится сидя, при небольшом физическом напряжении.

Обработка полученной информации с прибора и её визуализация производится на компьютере, состоящем из системного блока и монитора, поэтому выполняемые работы сводятся к взаимодействию с персональным компьютером.

В данном разделе рассматривается комплекс мероприятий, с помощью которых происходит минимизация негативного воздействия факторов, возникающие при работе с компьютером. Благодаря проведению данных мероприятий можно повысить производительность труда и улучшить условия работы в лаборатории.

5.1 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке или эксплуатации проектируемого решения.

В настоящее время в процессе эксплуатации предприятий производственной сферы возникает проблема обеспечения безопасности производственного персонала и населения.

Для выбора факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды приведен в таблице 5.1.

Таблица 5.1- Опасные и вредные факторы при исследовании

| Источник фактора, наименование видов работ | Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74) | | Нормативные документы |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Вредные | Опасные | |
| Обработка данных на персональном компьютере | Повышенная или недостаточная освещенность рабочей зоны; | Электрический ток | ГОСТ ИЕС 61140-2012 ГОСТ Р 50571.3-2009 (МЭК 60364-4-41:2005) СанПиН 2.2.4-548-96 [49] |
| | Утомление глаз, повышенная нагрузка на зрение; | | |
| | Длительное пребывание в одном и том же (сидячем) положении и монотонность труда (повторение однотипных движений); | Короткое замыкание | ГОСТ 26522-85 ГОСТ Р 50923-96 [43] |

В местах для подключения к электрической сети переносных электроприемников тока выполняются надписи, указывающие напряжение сети и род тока [43].

Установка штепсельных розеток и вилок, не соответствующих напряжению сети, не допускается.

Для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья на протяжении времени работы с компьютером, согласно [49] рекомендуется организовывать перерывы на 10-15 минут через каждые 45-60 минут работы. При этом продолжительность непрерывной работы с компьютером не должна превышать 2 часов.

Мониторы компьютера имеют антибликовое покрытие с коэффициентом отражения не более 0,5. Покрытие обеспечивает снятие электростатического заряда с поверхности экрана, искрение и накопление пыли. Корпус монитора обеспечивает защиту от ионизирующих и неионизирующих излучений. Не допускается нахождение второго рабочего места со стороны задней стенки компьютера.

Согласно Санитарным правилам оптимальными параметрами температуры в учебной лаборатории поддерживается рекомендованная температура в 19-21°C, допустимая температура 18-22°C, относительная влажность воздуха 62-55% и соответствует 39-31%.

В профилактических целях от воздействия неблагоприятного воздействия проводятся защитные мероприятия, например, системы местного кондиционирования воздуха, применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), регламент времени работы.

Особое внимание обращается на заземление, так как в компьютере используются микросхемы, чувствительные к статическому электричеству. Под особым контролем целостность изоляции всех кабелей и разъемов, чтобы не оказаться неожиданно под напряжением относительно земли. Запрещается

самостоятельно вскрывать корпус компьютера, из-за высокого напряжения внутри. Исключается работа с компьютером и его периферийными устройствами с открытым корпусом, самостоятельно переключать силовые и интерфейсные кабели, проливать жидкости и т.д. Рабочее место работающего на компьютере оборудовано специальной мебелью: вращающимся стулом с изменяемой высотой сиденья и угла наклона спинки. Несоблюдение требований к микроклимату помещения может не только резко снижать производительность труда, вызывать потери рабочего времени из-за увеличенного числа ошибок в работе, но и приводить к функциональным расстройствам или хроническим заболеваниям органов дыхания, нервной системы, иммунной системы.

Освещенность помещения является важным фактором для здоровья человека. Недостаточность освещенности пагубно сказывается на эффективности труда, зрении рабочих и здоровье организма в целом. Освещенности помещения с рабочим местом регламентируется СН РК 2.04-02-2011.

По СН РК 2.04-02-2011 освещенность в рабочем помещении с персональным компьютером составляет 300-500 люкс, коэффициент естественной освещенности при верхнем или комбинированном освещении 3,5, при боковом освещении 1,2, при верхнем или комбинированном освещении 2,1, при боковом освещении 0,7. Естественный свет падает через боковые проемы. Основной поток естественного света падает слева, не допускается справа, сзади и спереди работающего на компьютере. На окнах занавеси в два раза больше ширины окна. Запрещается применять для окон черные занавеси.

При общем равномерном освещении светильники размещены в верхней зоне помещения равномерно или применительно к расположению оборудования (общее локализованное освещение). Световые приборы для общего и местного освещения со светодиодами имеют защитные углы или

рассеиватели, исключая попадание в поле зрения работающего прямого излучения. Для поддержания нормированных значений освещенности производятся:

- регулярно (не реже двух раз в год) очищаются оконное стекло и светильники;
- своевременно проводится замена перегоревших ламп.

Соблюдается допустимый уровень шума для рабочего места по ГОСТ 27409-97, который не превышает 65 дБ.

В соответствии с [44] по виду трудовой деятельности данный вид работ в лаборатории относится к группе Д, это означает, что стоит сократить время работы за компьютером, делать перерывы при 8-ми часовой смене. Также применять мониторы с пониженным уровнем излучения и защитные экраны.

5.2 Психофизиологические факторы

Психофизиологическими и вредными факторами являются: напряжение зрения и внимания; монотонность труда.

Влияние выше приведенных факторов приводит к утомлению и снижению работоспособности. Появление и развитие утомления вызывает изменения в центральной нервной системе человека, а также может привести к различным заболеваниям.

5.3 Экологическая безопасность

С развитием науки и техники окружающая среда подвергается различным антропогенным воздействиям: электромагнитные поля, выбросы углекислого и прочих газов и др. Многочисленные источники загрязнения наносят серьезный ущерб окружающей среде.

Таким образом, охрана окружающей среды является важным фактором при проектировании и проведении исследования.

При рассмотрении влияния ПК можно сказать, что пагубного воздействия на экологию не оказывается.

В помещении нет отходов, которые нуждаются в специальной утилизации, кроме люминесцентных ламп, которые уничтожаются, согласно Постановлению Правительства РФ от 03.09.2010 N 681.

В случае выхода из строя ПК, они списываются и отправляются на специальный склад, который при необходимости принимает меры по утилизации списанной техники и комплектующих.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В помещениях с электрическими приборами повышен риск возникновения пожара. Неисправность электрооборудования, освещения, неправильная их эксплуатация, наличие статического электричества неудовлетворительный надзор за пожарными устройствами может послужить причиной пожара. Пожар наносит большой материальный ущерб и часто сопровождается несчастными случаями с людьми.

Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара.

Для профилактики пожара чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания, определение опасных факторов и обоснование способов и средств пожар предупреждения и защиты.

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности - ликвидация возможных источников воспламенения.

В лаборатории источниками воспламенения могут быть неисправное электрооборудование, неисправности в электропроводке, электрических розетках и выключателях.

Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неисправности, для этого проводятся плановые осмотры и своевременно устраняются все неисправности и неисправные электроприборы.

Обогревание помещения открытыми электронагревательными приборами могут привести к пожару, так как в помещении находятся бумажные документы и справочная литература в виде книг, пособий, а бумага - легковоспламеняющийся предмет.

В целях профилактики пожара в кабинете запрещено использовать открытые обогревательные приборы. Электропроводка в кабинете скрыта в целях уменьшения вероятности возникновения пожара вследствие короткого замыкания.

Несоблюдение мер пожарной безопасности и курение в помещении также может привести к пожару. Поэтому курение в помещении лаборатории категорически запрещено.

В целях предотвращения пожара предлагается проводить с сотрудниками, работающими в лаборатории, противопожарный инструктаж.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, эвакуировать людей из помещения согласно плану эвакуации, представленному на рисунке 5.2 и приступить к ликвидации пожара огнетушителями.

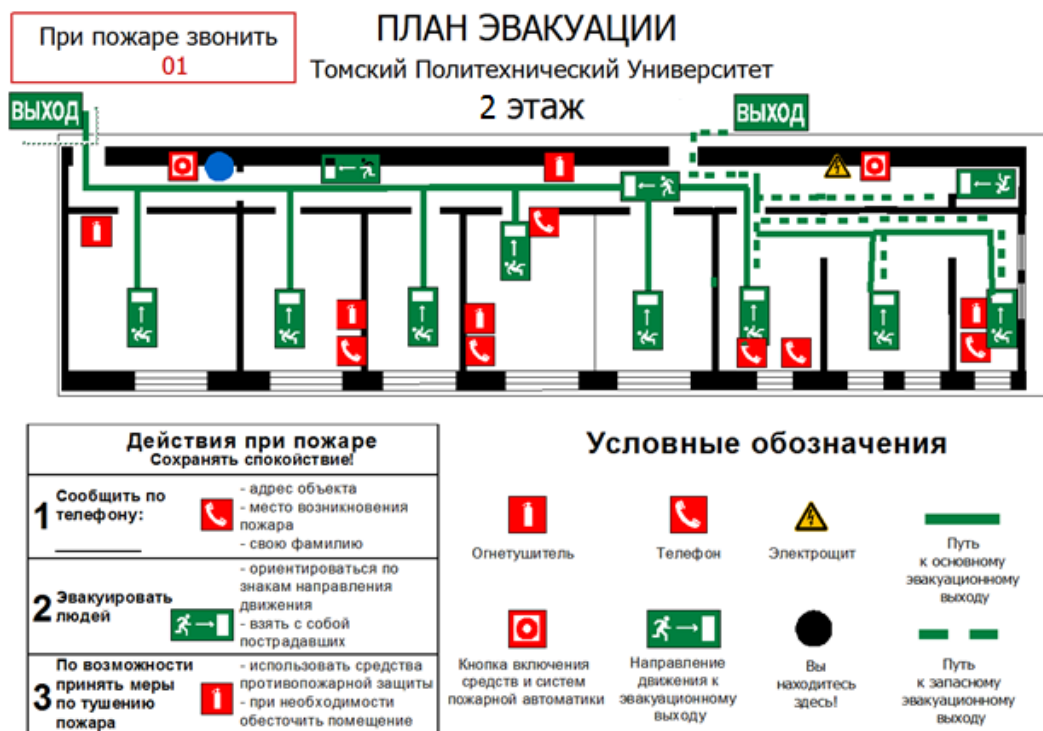


Рисунок 5.2– План эвакуации

При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

Здание корпуса 10 Томского политехнического университета, в котором располагается лаборатория, соответствует требованиям пожарной безопасности. В здании установлена система охранно-пожарной сигнализации, имеются в наличии порошковые огнетушители и план эвакуации, а так же установлен план эвакуации с указанием направлений к запасному (эвакуационному) выходу.

5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.5.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Основы законодательства Российской Федерации об охране труда обеспечивают единый порядок регулирования отношений в области охраны труда между работодателями и работниками на предприятиях, в учреждениях и организациях всех форм собственности независимо от сферы хозяйственной деятельности и ведомственной подчиненности. Основы законодательства устанавливают гарантии осуществления права на охрану труда и направлены на создание условий труда, отвечающих требованиям сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности и в связи с ней.

Законодательство РФ об охране труда состоит из соответствующих норм Конституции РФ, основ законодательства РФ об охране труда и издаваемых в соответствии с ними законодательных и иных нормативных актов.

Основные направления государственной политики в области охраны труда:

- признание и обеспечение приоритета жизни и здоровья работников по отношению к результатам производственной деятельности предприятий;
- установление единых нормативных требований по охране труда для предприятий всех форм собственности независимо от сферы хозяйственной деятельности и ведомственной подчиненности;
- государственное управление деятельностью в области охраны труда, включая государственный надзор и контроль за соблюдением законов и иных нормативных актов об охране труда;
- общественный контроль за соблюдением законных прав и интересов работников в области охраны труда, осуществляемый через профессиональные союзы и иные представительные органы;
- защита интересов работников, пострадавших от несчастных случаев на производстве или получивших профессиональные заболевания, а также членов их семей;

- проведение эффективной налоговой политики, стимулирующей создание здоровых и безопасных условий труда, разработку и внедрение безопасной техники и технологий, средств коллективной и индивидуальной защиты;
- применение экономических санкций в целях соблюдения предприятиями и работниками нормативных требований по охране труда.

Каждый работник имеет право на охрану труда, в том числе:

- на рабочее место, защищенное от воздействия вредных или опасных производственных факторов;
- на возмещение вреда, причиненного увечьем, профессиональным заболеванием либо иным повреждением здоровья, связанными с исполнением им трудовых обязанностей;
- на обучение безопасным методам и приемам труда за счет работодателя и др.

Государство в лице органов законодательной, исполнительной и судебной властей гарантирует право на охрану труда работникам, участвующим в трудовом процессе по трудовому договору (контакту) с работодателем. Условия трудового договора (контакта) должны соответствовать требованиям законодательных и нормативных актов по охране труда.

5.5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Большое значение в работе имеет организация рабочих мест сотрудников и создание благоприятных условий труда.

Оптимальный режим труда и отдыха это одно из важных условий качественной работоспособности сотрудников. При несоблюдении режима

труда и отдыха снижается работоспособность сотрудников, появляются головные боли, усталость, болезненные ощущения в глазах, раздражительность, психоэмоциональное напряжение.

Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов соответствует антропометрическим, физическим и психологическим требованиям.

Главными элементами рабочего места являются рабочий стол и стул, при этом работа проводится в положении сидя. Следовательно, для исключения возникновения заболеваний, связанных с малой подвижностью сотрудника, имеется возможность свободной перемены поз.

При организации рабочего места в лаборатории реализуются следующие правила:

- высота стола составляет 720 мм, в соответствии с нормами - 725 мм;
- рабочий стул не имеет регулировку высоты и поворотов, угол наклона спинки стандартный и так же не имеет возможности регулировки, не имеет подлокотников;
- клавиатура располагается на расстоянии от 150-200 мм от края стола, что соответствует нормам.

Обеспечение выполнения данных требований к компоновке рабочей зоны позволит улучшить качество и производительность труда инженера, снизить влияние действия психофизиологических факторов, обеспечить рациональный и безопасный труд.

Выводы по разделу Социальная ответственность

В данном разделе проанализированы опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть при выполнении выпускной работы, причины их возникновения и меры по предотвращению или снижению их негативного воздействия на работника. Были рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства, а так же организационные вопросы обеспечения безопасности рабочей зоны. В результате анализа было выявлено соответствие рабочего места нормам, которые описаны ниже:

- нормы освещенности по По СН РК 2.04-02-2011;
- допустимый уровень шума по ГОСТ 27409-97;
- рабочее место соответствует ГОСТ Р 50923-96;
- обращение с отходами согласно ГОСТ Р 55102-2012;
- микроклимат в рабочем помещении соответствует ГОСТ 30494-2011.

Заключение

Результаты работы позволяют нам утверждать, что программный анализатор спектра может быть создан без использования стандартных методов, существующих в LabVIEW, при этом сам спектр может быть рассчитан с помощью интеграла Фурье.

В процессе выполнения научно-исследовательской работы были достигнуты поставленные цели:

1. Изучены основы спектрального анализа измерительных сигналов;
2. Ознакомились с принципами работы анализаторов спектра и систематизировали их функциональные возможности;
3. Записаны алгоритмы реализации основных функций анализаторов спектра.
4. Реализованы и наглядно продемонстрированы основные функции анализаторов спектра.

Список использованных источников

- 1 Измерения в радиоэлектронике. Учебное пособие / Данилин А.А., Лавренко Н.С. – СПб: Издательство «Лань», 2017. – 408 с.;
- 2 Спектры и анализ. Изд. 5-е / Харкевич А.А. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 240 с.;
- 3 Цифровые анализаторы спектра / В.Н.Плотников, А.В.Белинский, В.А. Суханов, Ю.Н.Жигулевцев. – М: Радио и связь, 1980 – 185 с.;
- 4 Современные цифровые анализаторы спектра / Дьяконов В.П. (статья);
- 5 Основы анализа спектра Agilent – www.agilent.com;
- 6 Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики / Дьяконов В.П., Афонский А.А. – М.: СОЛОН–Пресс, 2009;
- 7 Основы спектрального анализа / Раушер К., Йанссен Ф., Минихольд Р. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006;
- 8 Современные методы Фурье и вейвлет–анализа и синтеза сигналов / Дьяконов В.П. // Контрольно–измерительные приборы и системы. 2009. № 2;
- 9 Методы анализа спектра сигнала. Учебно – методическое пособие к специальному лабораторному практикуму для студентов старших курсов и магистрантов кафедр радиофизического направления / Христофоров А.В. – Казань 2004, 21 с.;
- 10 Семейство анализаторов спектра и сигналов. Rohde&Schwarz – www.rohde-schwarz.ru;
- 11 Анализатор спектра до 20 кГц www.zetlab.com;
- 12 Анализатор гармоник www.fluke.com;
- 13 Анализатор спектра www.gwinstek.com;
- 14 Анализатор спектра www.tokyo-cci.or.jp;
- 15 Анализатор спектра www.promax.com;
- 16 Анализатор спектра www.exfo.com;

17 Панорамные приемники и анализаторы спектра, издание 2-е переработанное и дополненное / В.А. Мартынов, Селихов Ю.И – М.: Советское радио, 1980, 352 с.;

18 Анализаторы спектра реального времени. Tektronix – www.tektronix.com;

19 Технология цифрового люминофора улучшает обнаружение и анализ высокочастотных сигналов Мисс Дж. // Контрольно–измерительные приборы и системы. 2006. № 6;

20 Измерения в электронике: Справочник под ред. В.А.Кузнецова / В.А.Кузнецов, В.А.Долгов, В.П.Коневских. – М: Энергоатомиздат, 1987;

21 Аппроксимативный способ спектрального анализа / Е.П. Осадчий, М.П. Берестень, Н.В. Мясникова, Строганов М.П. и др. // Открытия. Изобретения. – 1987. – №35. – С.138;

22 Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики / Афонский А. А., Дьяконов В. П. – М.: СОЛОН–Пресс, 2009;

23 Раушер К., Йанссен Ф., Минихольд Р. Основы спектрального анализа. М.: Горячая линия – Телеком, 2006;

24 Электронные средства связи / Дьяконов В. П., Образцов А. А., Смердов В. Б. – М.: СОЛОН–Пресс, 2005;

25 Генерация и генераторы сигналов / Дьяконов В.П. – М.: ДМК–Пресс, 2009;

26 Развитие серии генераторов произвольных функций AFG3000 компании Tektronix и их применение / Дьяконов В. П. // Компоненты и технологии. 2009. № 11;

27 Радиосигналы и переходные явления в радиоцепях / Гоноровский И.С. –М.: Связьиздат, 1954;

28 Руководство по эксплуатации Анализатор спектра R&S ® FSH;

29 RIGOL Руководство пользователя Анализатор спектра частот серии DSA800, Октябрь 2012 г. RIGOL Technologies, Inc.;

30 Цифровая обработка сигналов в радиоэлектронных системах: Учеб. пособие по курсу «Цифровая обработка сигналов» для студентов специальности 39 01 02 Радиоэлектронные системы дневной формы обучения / С. Б. Саломатин. - Мн.: БГУИР, 2002. – 87 с.;

31 Жылысбай М. РЕАЛИЗАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА В СОВРЕМЕННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПАКЕТАХ MULTISIM, LABVIEW И MATLAB. Сборник трудов XV Международной научно – практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (статья);

32 Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий NI ELVIS II. Руководство пользователя;

33 Исследование аналоговых схем в программно-аппаратной среде NI ELVIS: учебное пособие / Э.И. Цимбалист, С.В. Силушкин Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 264 с.;

34 Разработка и производство технических средств защиты информации. Усреднение спектров [Электронный ресурс] – URL: http://www.smersh.ru/docs/1_4_2_5_3_usrednenie_spektrov/, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 12.04.2018;

35 IEC 60714(1981) Анализаторы спектра. Выражение характеристик;

36 IEC/PAS 62129(2004) Калибровка оптических спектральных анализаторов;

37 ГОСТ Р 8.762–2011: Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений коэффициента гармоник;

38 ГОСТ 8.331–99: Государственная система обеспечения единства измерений. Измерители коэффициента гармоник. Методы и средства поверки и калибровки;

39 ГОСТ 30804.4.7 – 2013 (IEC 61000-4 – 7:2009) Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств;

- 40 ГОСТ 11859-66 Анализаторы гармоник. Методы и средства поверки;
- 41 ГОСТ 17168-82 Фильтры электронные октавные и третьоктавные. Общие технические требования и методы испытаний;
- 42 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
- 43 ГОСТ Р 50923-96. Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения;
- 44 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы – М.: Минздрав России, 2003;
- 45 ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях;
- 46 ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.– М.: ИПК Издательство стандартов, 2004;
- 47 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы – М.: Минздрав России, 2003.
- 48 СанПиН 2.2.1/2.1.1.567-96 Проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация предприятий. Планировка и застройка населенных мест.
- 49 СанПиН 2.2.1/2.1.1.567-96 Проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация предприятий. Планировка и застройка населенных мест;
- 50 ГОСТ Р 55102-2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования, за исключением ртутьсодержащих устройств и приборов;

51 ГОСТ Р 12.1.019–2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;

52 № патента: 2310175 Анализатор спектра излучений. Авторы патента: Скубилин М.Д., Письменов А.В., Иванцов В.В. Владелец патента: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Южный федеральный университет;

53 № патента: 2022352 ЦИФРОВОЙ АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА. Авторы патента: Лысенко С. Л. Владелец патента: Лысенко С. Л.;

54 № патента: 2160926 АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА ПО ФУНКЦИЯМ УОЛША. Авторы патента: Павлов Е.Ю.; Шабakov Е.И. Владелец патента: Военный инженерно-космический университет им. А.Ф. Можайского;

55 № патента: 2018144 ЦИФРОВОЙ АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА. Авторы патента: Ганушкин Ю.А. Владелец патента: Центральное конструкторское бюро "Пеленг" Ганушкин Ю. А.;

56 № патента: 2164668 АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА. Авторы патента: Страхов А.Ф.; Страхов О.А. Владелец патента: Московское конструкторское бюро "Параллель";

57 № патента: 2099720 ЦИФРОВОЙ АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА. Авторы патента: Кондращенко В.Н.; Макаров Г.В.; Токарев А.Б. Владелец патента: Воронежский государственный технический университет;

58 № патента: 2054683 ЦИФРОВОЙ АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА. Авторы патента: Саламатин Н.Е.; Ермолин В.И. Владелец патента: Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева.

Приложение А

(обязательное)

Раздел, выполненный на иностранном языке

Fundamentals of spectral analysis

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------|
| 8ГМ61 | Жылысбай М. | | |

Консультант проф. кафедры:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Заревич А.И. | К.Т.Н | | |

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------|-------------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Кузнецова И.Н. | | | |

1.1 Fundamentals of spectral analysis

The definition of spectrum is based on the Fourier transform; integration over time is carried out in infinite limits. It follows that the function of time undergoes transformation as a whole; the result of the transformation, i.e. the spectrum, depends only on the frequency. However, there is the notion of "current spectrum" under the actual conditions of the experiment.

The practical application of spectral representations leads to the need for an experimental Fourier expansion, that is, to a harmonic analysis of various phenomena. Although there is a huge number of methods of analysis and analyzing instruments that use these methods, many of the key questions of analysis have remained insufficiently developed until now, and sometimes are not entirely clear. In particular, the basic requirements for the analysis of both the measurement process and the analyzer as a measuring instrument were not often raised or discussed at all.

1.1.1 The Fourier series and the Fourier integral

Definition of a periodic function:

$$f(t) = f(t + nT) \quad (1.1)$$

T is a constant value, called a period, n is any integer, positive or negative. The definition (1.1) expresses the basic property of a periodic function, consisting of the fact that the course of the phenomenon is periodically repeated and that this periodicity exists forever, that is, for all times from $-\infty$ to $+\infty$.

We can immediately conclude that there are actually no periodic phenomena in the strict sense of the definition (1.1).

A periodic function with unimportant mathematical constraints can be represented by a series of functions:

$$f(t) = c_0 + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos(2\pi k \frac{t}{T} - \varphi_k) \quad (1.2)$$

The periodic function $f(t)$ is represented by the sum of terms of the form:

$$c_k \cos(2\pi k \frac{t}{T} - \varphi_k)$$

Expression (1.2) can be rewritten in another form:

$$f(t) = c_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos 2\pi k \frac{t}{T} - b_k \sin 2\pi k \frac{t}{T}), \quad (1.3)$$

where:

$$a_k = c_k \cos \varphi_k, \quad b_k = c_k \sin \varphi_k,$$

so that:

$$c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}, \quad \operatorname{tg} \varphi_k = \frac{b_k}{a_k}$$

The coefficients a_k and b_k are determined by the formulas:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cos 2\pi k \frac{t}{T} dt, \quad (1.4)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \sin 2\pi k \frac{t}{T} dt, \quad (1.5)$$

The Fourier series can also be written in complex form as follows:

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k e^{j2\pi k \frac{t}{T}}, \quad (1.6)$$

where:

$$2C_k = c_k e^{-j\varphi_k} = a_k - jb_k; \quad c_k = 2|C_k|; \quad c_0 = C_0$$

The quantity $2C_k$ is the complex amplitude; C_k is found by the formula:

$$C_k = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) e^{-j2\pi k \frac{t}{T}} dt, \quad (1.7)$$

The Fourier series gives the expansion of a periodic function with respect to trigonometric functions. This decomposition can also be generalized to the case of a nonperiodic function. The Fourier expansion is obtained by passing to the limit as $T \rightarrow \infty$. A nonperiodic function can be considered as the limiting case of a periodic

function for an unboundedly increasing period. We take the formula (1.6) and substitute into it the value of C_k from (1.7):

$$f(t) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} e^{j2\pi k \frac{t}{T}} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) e^{-j2\pi k \frac{t}{T}} dt \quad (1.8)$$

whence follows:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (1.9)$$

where :

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (1.10)$$

Formulas (1.8) and (1.9) are the basic formulas of the theory of spectra. They are a pair of Fourier transforms that connect two functions together: the real-time function $f(t)$ and the complex frequency function $S(\omega)$. Formula (1.8) is a Fourier integral in complex form. The meaning of this formula is that the function $f(t)$ is represented as the sum of the sinusoidal components. But the function $f(t)$ is non-periodic; therefore, it can be represented only by the sum of an infinitely large number of infinitely small oscillations of infinitesimals close in frequency. The complex amplitude of each individual oscillation is infinitesimal, it is equal to:

$$dC = \frac{1}{\pi} S(\omega) d\omega \quad (1.11)$$

If the Fourier series represent a periodic function by the sum of an infinite number of sinusoids, but with frequencies having certain discrete values, then the Fourier integral represents a nonperiodic function by the sum of sinusoids with a continuous sequence of frequencies. In the nonperiodic function there are all frequencies.

One of the features that distinguish the Fourier integral from the Fourier series is that the Fourier series represents a periodic function as a sum of periodic components, while the Fourier integral represents a nonperiodic function as the sum of periodic components. Thus, in the case of the Fourier integral, the sum does not

possess an essential property of its terms. This circumstance must be borne in mind in general arguments about the spectral Fourier expansion.

The formula (1.8) can be written in real form; then the integration will be carried out only at positive frequencies. Introducing the notation:

$$S(\omega) = A(\omega) + jB(\omega),$$

We obtain (taking into account that A is even and B an odd function):

$$f(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (1.12)$$

1.1.2 Spectra. Definitions and Classification

We rewrite (1.2) in the following form

$$f(t) = c_0 + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos(k\omega_1 t - \varphi_k) \quad (1.13)$$

Here $\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$ is the fundamental frequency. The complex periodic function $f(t)$ is completely determined by the set of values c_k and φ_k . The set of quantities c_k is called the amplitude spectrum. The set of values of φ_k is called the phase spectrum. For many applications it is sufficient to know the amplitude spectrum. It is used so often that when the spectrum is simply said, it is usually the amplitude spectrum that is meant.

The spectrum of a periodic function can be represented graphically. We choose coordinates c_k and $\omega = k\omega_1$ for this purpose. The spectrum will be represented in this coordinate system by a set of discrete points, since to each value $k\omega_1$, there corresponds one definite c_k . A graph consisting of individual points is inconvenient. Therefore, it is customary to represent the amplitudes of individual harmonics by vertical segments of the corresponding length. As a result, the spectrum of the periodic function takes the form shown in Fig. 1.1.

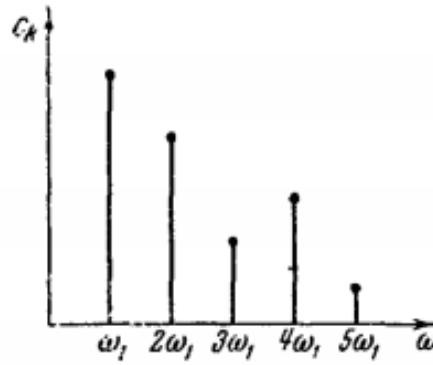


Figure 1.1. The discrete spectrum of a periodic function

The discrete spectrum is also called a line spectrum. The second property of the spectrum presented in Figure 1.1 is that this spectrum is harmonic. This means that it consists of equidistant spectral lines; frequency of harmonics in simple multiples. Of course, individual harmonics, sometimes even the first, may be absent, that is, their amplitudes may be zero; this does not, however, violate the harmonicity of the spectrum. We should not think that only a periodic function has a discrete spectrum. We suppose, for example, that a complex oscillation is the result of the addition of two sinusoidal oscillations with incommensurable frequencies, for example, ω_1 and $\sqrt{2}\omega_1$. This oscillation is known to be nonperiodic, but its spectrum is discrete and consists of two spectral lines.

Discrete or line spectra can belong to both periodic and nonperiodic functions. In the first case, the line spectrum is necessarily harmonic. The case of an almost-periodic function of great practical importance is represented by a decomposition of the form:

$$f(t) = \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos[(\omega_0 + k\omega_1)t - \varphi_k] \quad (1.14)$$

The integrand expresses a separate, infinitely small summand, that is, a vibration with an infinitesimal amplitude dC :

$$\frac{1}{\pi} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega = dC e^{j\omega t} \quad (1.15)$$

Hence we find:

$$S(\omega) = \pi \frac{dC}{d\omega} \quad (1.16)$$

Thus, the quantity $S(\omega)$ expresses the spectral density. But usually this part is omitted and is called the $S(\omega)$ complex spectrum of a nonperiodic function, and the absolute value (module) of this quantity is simply a spectrum.

$$\Psi(\omega) = |S(\omega)| \quad (1.17)$$

1.2 History of the evolution of spectral measurements

Modern radioelectronic measurements require the use of fairly sophisticated instruments and systems for various purposes. The choice of the instrument largely determines the choice of the measurement method, which is standard for this measuring instrument. [1] Sometimes they use standard universal measuring instruments in engineering practice, produced on an industrial scale by instrument-making firms.

Historically, the improvement of radio-measuring equipment took place by:

- Analog-digital conversion of measurement information and digital result reading;
- Transfer of digital information to the results processing systems;
- Introducing the logic for controlling measurement operations and automating the procedure for obtaining the result;
- Introduction of computing devices for control and processing into the structure of the device.

Methods for solving the posed problems can be divided into two groups:

- Hardware logic;
- Software logic.

Modern measuring instruments can usually be divided into several groups:

- Cheap budgetary measurement tools. These are usually simple specialized devices designed for a narrow range of tasks (for example, measuring voltage, current, resistance) without the possibility of automation. They use analog and simplest digital blocks.
- Universal measuring instruments. These are multifunctional devices, built on the same principles and allowing to produce both the acquisition of experimental data and their processing. Including multimeters, electronic-counting frequency meters.
- Specialized measuring instruments are designed to solve a group of separate (often rather complicated) measuring tasks. These are microwave analyzers of circuits, radio frequency measuring devices for signals, measuring instruments for measurement in fiber-optic transmission lines.

By the type of information received, all measuring instruments are divided into analog and digital. In traditional analogue instruments, the result of measurement is obtained with the direct participation of the operator by comparing the analog pointer (arrow, marker, etc.) with a discrete scale. Digital instruments show the result of measurement in digital form and completely exclude subjective error. Digital instruments are most suitable for automating the measurement process. Only such instruments can be used in measuring systems and computational means of measurements.

According to the design and capabilities digital devices can be divided into:

- Digital devices with hard logic;
- Microprocessor devices and systems;
- Computer-based Measuring Devices (CMD);

Investigation of signals can be carried out not only in the temporal, but also in the frequency (spectral) regions. [3] Spectrum Analyzer is an instrument for observing and measuring the relative energy distribution of electrical oscillations in the frequency band.

1.3 General questions of measuring the spectrum of radio signals

Observation of the waveform does not always provide complete information about it. Thus, the oscilloscope of an FM radio signal with a small frequency deviation in appearance does not differ much from the oscilloscope of a harmonic signal. Small distortions in the shape of the sinusoidal oscillation correspond to the presence in the signal composition of additional harmonic components.

For this reason, the analysis of the spectral characteristics of radio signals is often more informative and allows one to accurately measure radio signal parameters such as power, frequency, modulation factor and other. [6]

The following are the most common spectral characteristics of a radio signal. For a single signal $u(t)$ in the frequency domain, the spectral function (or the spectral density, V/Hz), determined by the direct Fourier transform, is used:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{-i2\pi ft} dt \quad (1.18)$$

This function is complex and represents the distribution of the amplitudes and phases of the harmonic components along the frequency axis. The spectral function is the functional of an already completed process (the integral is taken up to "infinite" time). [4] In real conditions, only the current frequency spectrum characterizing the unfinished process at time T_a can be measured:

$$S(f, T_a) = \int_{-\infty}^{T_a} u(t)e^{-i2\pi ft} dt \quad (1.19)$$

The spectral analysis should provide the analysis time T_a (integration time) much longer than the signal duration (and for a periodic signal, more than its period). Otherwise, instead of the full spectrum, we get the current spectrum, which depends on the analysis time.

The most frequently measured modulus of a spectral function is called the amplitude spectral function, or the amplitude spectrum of the signal. Instruments that measure the amplitude spectrum are called spectrum analyzers (SA). The phase of the spectral function (phase spectrum of the signal) is more difficult to measure,

therefore, in standard measuring tasks this is usually not provided. However, the phase spectrum is necessary for the analysis of signals with complex modes of modulation. Instruments that measure both the modulus and the phase of the spectral function are called vector spectrum analyzers. They use digital signal processing technologies (computer spectrum analyzers).

A special class of signals are noise and random (non-repeating) signals of great duration (these include actual information signals). An important characteristic of such a signal is its power spectral density:

$$W(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|S(f, T)|^2}{T}, [\text{B}^2 \cdot \text{c}] \quad (1.20)$$

Here $S(f, T)$ is the spectral density of the realization of the random process on the interval $[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}]$. The units of the spectral power density are the same as the signal energy, so sometimes it is called the energy spectrum of a random signal. In fact, $W(f)$ is a characteristic of the power distribution of a random signal over a frequency.

For periodic signals, the spectral function is a sequence of delta functions shifted relative to each other by the signal repetition frequency (line spectrum). [7] Usually in this case the spectral representation of the signal is used in the form of a Fourier series:

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n \cos\left(n \frac{2\pi}{T} t + \varphi_n\right), \quad (1.21)$$

where T is the signal repetition period. The signal is a set of harmonic oscillations with multiple frequencies. A component with zero frequency U_0 is a constant component of the signal (mean value of the signal). It is measured with DC voltmeters. The sequence $\{U_n\}$ is called the amplitude spectrum of a periodic signal (dimension-B); sequence $\{\varphi_n\}$ is a phase spectrum (degrees ($^\circ$) or radians).

To represent the spectrum, a graphical form is generally used in the form of vertical lines, whose height is equal to the amplitude of the harmonic, and the arrangement along the horizontal axis is the frequency. Such a representation of the

spectrum is called a spectrogram. [7] The spectrogram allows visual representation of the spectrum and its quantitative characteristics (figure 1.3).

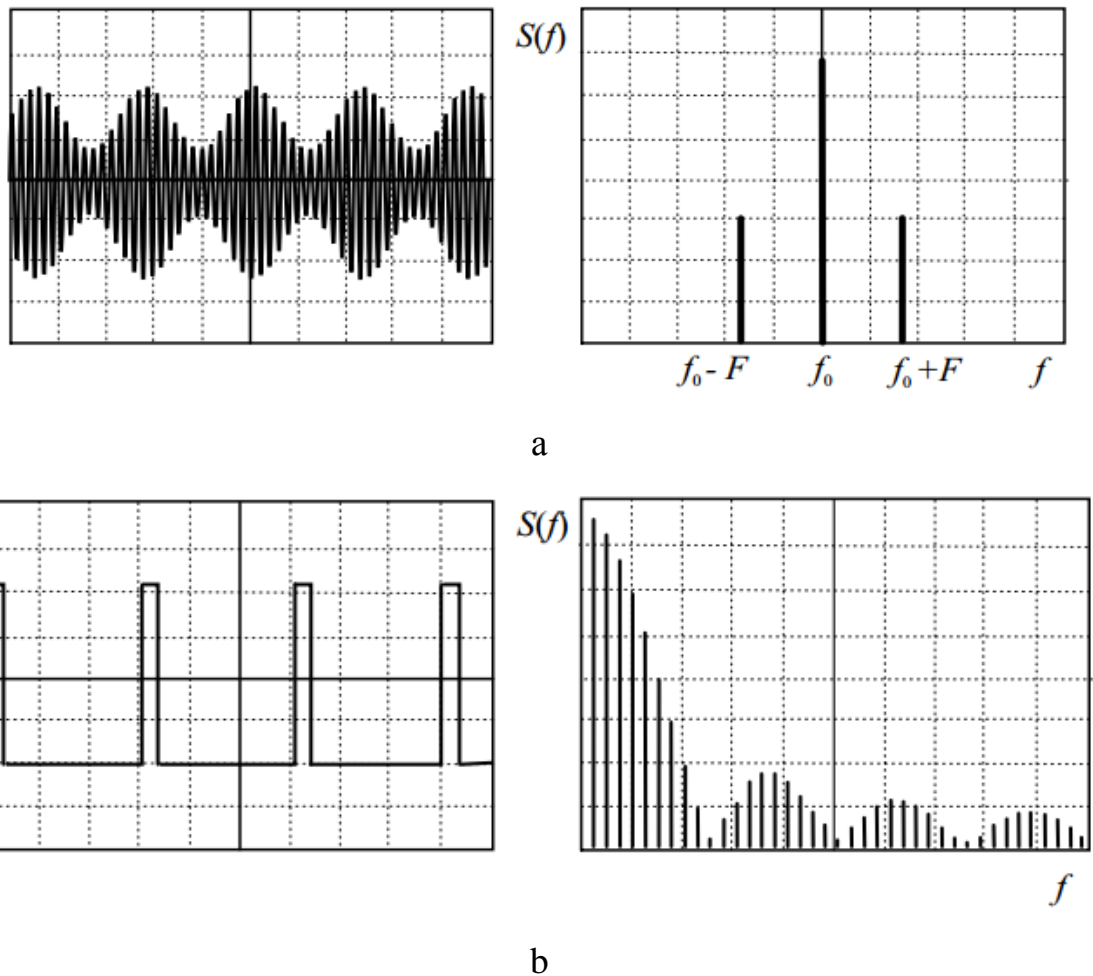


Figure 1.3. Oscillograms and spectrograms: on a radio signals with tonal AM and sequences of rectangular pulses

1.4 Classification of methods and means of spectral analysis

The main tasks of spectral analysis of signals include:

- determination of amplitudes and frequencies of harmonic components of periodic signals;
- measurement of the amplitude spectral function of single signals;
- measurement of the power spectral density of random signals.

All methods of spectral analysis are divided into analog and digital (computational) (Figure 1.4).

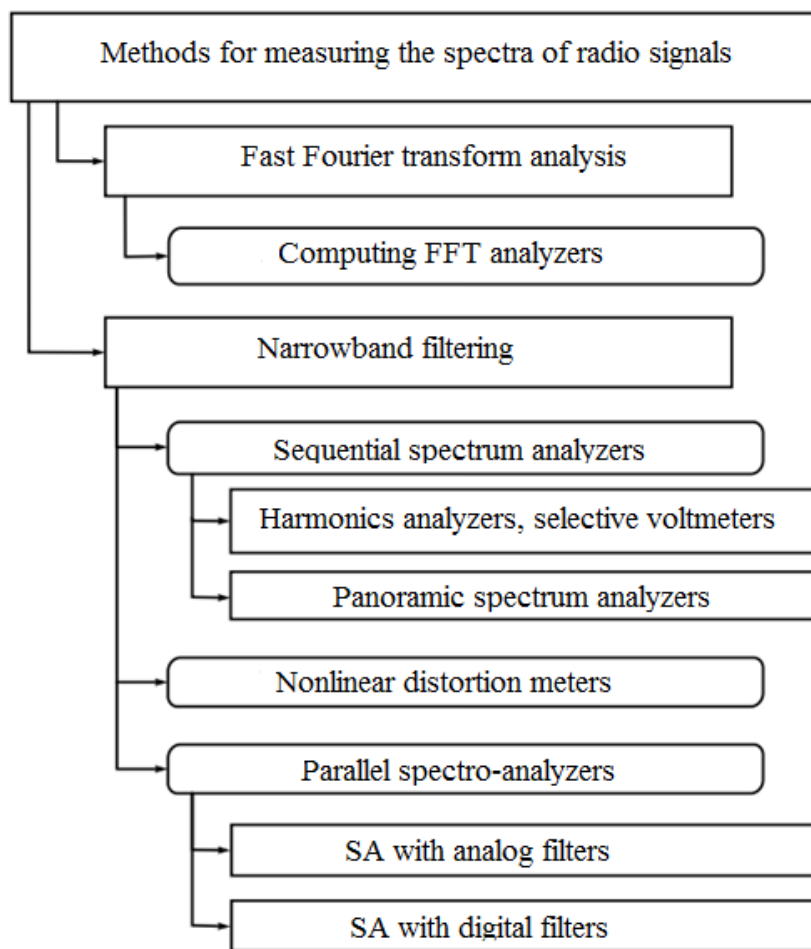


Figure 1.4. Classification of methods and means of spectral analysis

Analog methods, as a rule, use narrow-band signal filtering to extract harmonic components. Computational methods include digitizing the signal and calculating the spectrum using digital filtering algorithms or fast Fourier transform (FFT). [1]

Spectrum analyzers are distinguished by the upper limiting frequency of the operating range. Devices of the low-frequency range - up to about 1 MHz are used to analyze low-frequency electronics, acoustics and mechanics signals.

Spectrum analyzers of the HF range (up to about 3-6 GHz) are necessary for the development of mobile communication systems, radio equipment, broadcasting equipment and television, etc. Instruments for the microwave band (microwave range

- up to 40 GHz and millimeter wave band over 40 GHz) are used for measurements in broadband communication lines, radio relay and satellite channels for the transmission of digital information and others.

According to the principle of operation spectrum-analyzers are divided into parallel and sequential.

Parallel speakers can perform spectrum analysis simultaneously in the entire working frequency band. They are called real-time spectrum analyzers. They are implemented using a set of analog or digital filters.

Serial speakers are based on scanning the frequency range with a single tunable narrow-band filter or a selective receiver. Reorganization can be either manual (such devices are called harmonic analyzers, selective voltmeters), and automatic (with electronic control). In the latter case, a panoramic method of representing the results of spectrum analysis on the screen of an oscilloscope indicator is used. Serial-type spectrum-analyzers are the most common frequency analysis instruments in the HF and microwave ranges. [1]

Modern digital spectrum analyzers use computational methods for spectral analysis of signals using FFT algorithms. This allows to obtain both amplitude and phase spectra of the signal, to study periodic and single, non-repeating and random signals. Unfortunately, such devices are quite expensive and have limitations on the operating frequency range.

1.5 Serial-type spectrum analyzers

SA series type implements a narrowband analysis method, in which the operating frequency range is sequentially scanned by a selective device that detects individual harmonics. The simplest is the scheme with a tunable filter (Figure 1.5).

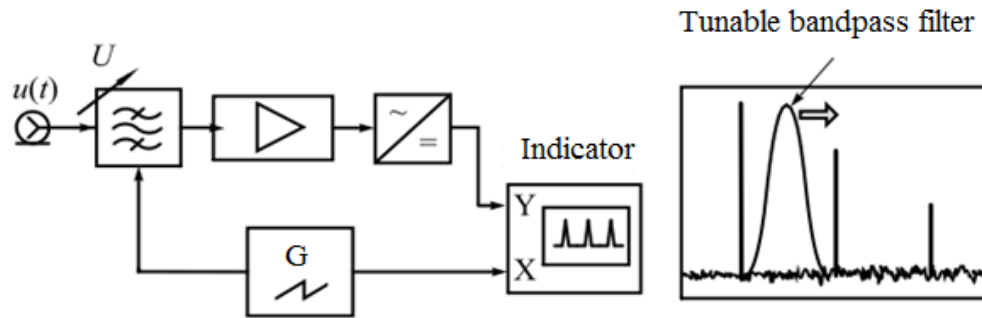


Figure 1.5. Sequential spectrum analyzer with tunable bandpass filter

The main part of the device is an electrically tuned bandpass filter. The frequency of the filter adjustment is controlled by the scanning voltage. The signal from the filter output is amplified, detected and fed to the vertical deflection channel of the oscilloscope. This signal is proportional to the level of the harmonic components present at the input of the device. Analyzers of this type are sometimes used in the microwave range. They are built on the basis of electrically tunable ferrite microwave filters with a passband of 20 ... 30 MHz. More narrow bandwidth is implemented in tunable filters, as a rule, fails. The most common design of a serial type SA is the superheterodyne circuit shown in Figure 1.6. [3]

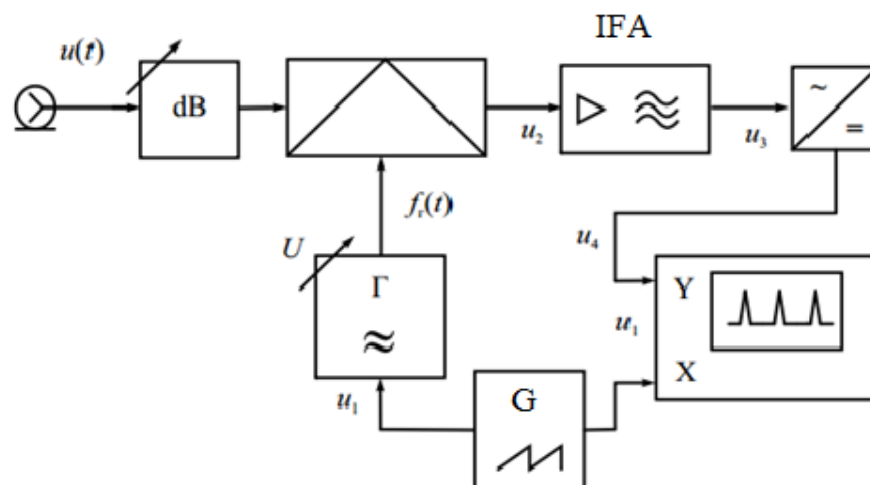


Figure 1.6. Sequential spectrum analyzer with tunable heterodyne

In serial SA, electronic frequency tuning and the panoramic principle of indication of the result are used. The SA circuit consists of a frequency converter, including a mixer and an electrically tunable local oscillator, and an intermediate frequency amplifier (IFA). The amplifier contains a narrow-band filter (radio filter) tuned to a fixed intermediate frequency (IF) of the f_{IF} spectrum analyzer. At the output of the filter, set the IF signal level meter. The measurement result is fed to the Y channel of the oscilloscope indicator. The control of the local oscillator frequency is carried out by the voltage of the generator of the linear scan of the indicator (channel X). In fact, such a device is a narrow-band selective voltmeter with a superheterodyne frequency tuning principle. [3]

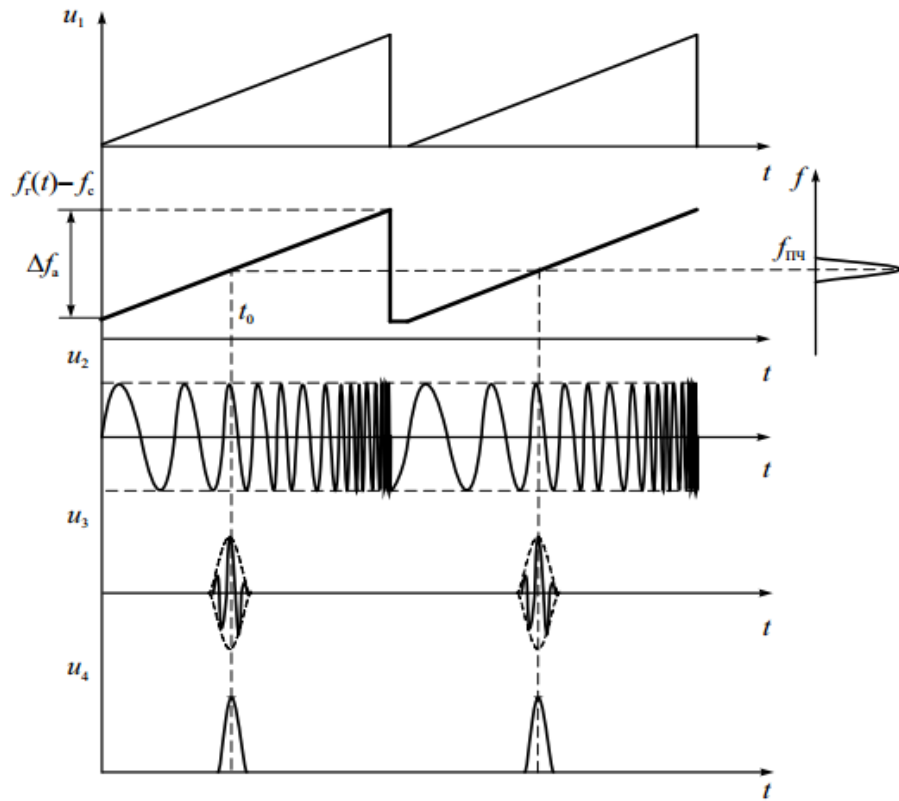


Figure 1.7. Oscilloscope of signals from a sequential spectrum analyzer

The operation of a serial SA with an example of analyzing the spectrum of a sinusoidal signal (one harmonic with frequency f_c). The heterodyne is a voltage-controlled generator. Since the law of measurement of frequency in the SA is

periodic (usually sawtooth), it is usually called the swept-frequency oscillator. SFO generates a harmonic signal with a constant amplitude U_p and a frequency $f_r(t)$ changing linearly. Typically, the local oscillator frequency is made above the upper operating frequency of the SA. [3] The frequency of the SFO is related to the control voltage of the scan $u_p(t)$ by a linear law:

$$f_r(t) = f_{r\min} + (f_{r\max} - f_{r\min}) \frac{u_p(t)}{U_p} \quad (1.22)$$

At the output of the mixer, signals with combinational frequencies arise, including the difference frequency $f_r(t) - f_c$. This signal u_2 passes through the intermediate frequency amplifier at some time t_0 , when the difference frequency coincides with the frequency of the intermediate-frequency amplifier:

$$f_{\Pi\Phi} = f_r(t_0) - f_c \quad (1.23)$$

The waveform u_3 is determined by the amplitude-frequency response of the radiofilter, which is explained in Figure 1.9. At the output of the detector, a video pulse u_4 is obtained. It is the response of a serial SA to a harmonic effect. This pulse is fed to the oscilloscope indicator of the device. The response form repeats the form of the amplitude-frequency response of the intermediate-frequency amplifier and for a narrowband filter it can look like a thin vertical line. The time instant t_0 , when the pulse appears on the screen, depends on the frequency of the harmonic. The magnitude of the response is proportional to the amplitude of the input signal. The reaction of the SA to the harmonic effect is a hardware function of the analyzer. It can be considered as a frequency analog of the impulse response, which is a characteristic of the device in the time domain. [1]

Приложение Б

Листинг программы на языке MatLab реализующей алгоритм анализатора спектра на основе интеграла Фурье

% Анализ данных Мадина Жылысбай 2018-05-22

function Madina3

%% Тестовый сигнал

% Параметры квантования по уровню - 12 бит, 4096 градаций

% Параметры тестового сигнала

% Вид сигнала: 1 - синус, 2 - 2 синуса, 3 - прямоугольник, 4 - АМ, 5 - ЧМ

Type_Sign = 2;

% Амплитуда

A1 = 1; A2 = 1; % В

% Частота

f1 = 40.e3; % Гц

% df = 50; % Разность частот синусов

% f2 = f + df; % Гц

f2 = 40500; % Гц

Tau = 1/f1/5; % с

A_noise = 0.; % Амплитуда шума

% Частота/шаг квантования

f_q = 100e3; % Гц

t_q = 1 / f_q; % с

N_q = 30000; 2^100; % Максимальное число квантов по времени

```

% Параметры квантования по уровню
Use_grad = 1;
% Динамический диапазон квантования
U_min = -1; U_max = 1;
% Кол-во градаций - 12 бит, 4096 градаций
N_grad = 2^8;

% Размер входного кольцевого буфера
N_buf_in = 1000;
Buf_in = zeros (1, N_buf_in);
% Buf_in_clear = Buf_in; % Буфер без шума
Buf_in_grad = Buf_in; % Буфер градуированный по уровню
i_buf_in = 0; % Текущая позиция в буфере

% Счетчик итераций оцифровки входного сигнала
i_q = 0;
i_q10 = 0;

% Размер рабочего буфера
N_buf_clc = N_buf_in;
Buf_clc = zeros (N_buf_clc, 2);
Buf_clc10 = zeros (N_buf_clc*10, 2);
% Buf_clc_clear = Buf_clc; % Буфер без шума
Buf_clc_grad = Buf_clc; % Буфер градуированный по уровню
i_buf_clc = 0; % Текущая позиция в буфере

% Шкала времени рабочего буфера

```

```

Buf_clc(:, 1) = linspace (-N_buf_clc/2*t_q, N_buf_clc/2*t_q, N_buf_clc);
Buf_clc10(:, 1) = linspace (-N_buf_clc/2*t_q, N_buf_clc/2*t_q, N_buf_clc*10);

% Параметры дисплея время по горизонтали / размах по вертикали
X_disp = [min(Buf_clc(:, 1)/1) max(Buf_clc(:, 1)/1)];
% Y_disp = [-2*A 2*A];

% X_disp = [-0.002 0.002];
Y_disp = [-1.5 1.5];

% Параметры спектра сигнала
f_n = 10; f_v = 50000;
f_n_0 = 10; f_n;
f_v = fix (min (f_v, f_q/2));
% Размер массива спектра
N_S = 16000;
% Время анализа
Tau_clc = 0.05;
% Интервал анализа
N_smooth = fix (Tau_clc * f_q)

% f_S = linspace (f_n, f_v, N_S);
f_S (2:N_S) = logspace (log10 (f_n), log10 (f_v), N_S-1);
f_S (1) = 0;
S (N_S) = 0; % Массив спектра

S_3 (N_S) = 0; % Массив спектра для прямоугольного импульса
S_3 = abs (A1*Tau * sin (2*pi*f_S*Tau/2) ./ (2*pi*f_S*Tau/2));
S_3 = S_3/max(S_3) * 0.2;

```



```
% S_3 = 10 * log10 (S_3);
```

```
% Проверка заполнения входного буфера
```

```
Buf_empty = true;
```

```
% Номер фигуры
```

```
N_Fig = randi (1000);
```

```
NeedDraw = 0;
```

```
while i_q < N_q
```

```
    if i_q == N_q
```

```
        i_q = 0;
```

```
    end
```

```
    i_buf_in = i_buf_in + 1;
```

```
    if i_buf_in == N_buf_in
```

```
        i_q_in = 1;
```

```
        Buf_empty = false;
```

```
    end
```

```
% Время сигнала
```

```
t = i_q * t_q;
```

```
% Мгновенное значение сигнала
```

```
switch Type_Sign
```

```
    case 1
```

```
        U_clear = A1 * sin (2*pi*f1*t);
```

```
    case 2
```

```
        U_clear = A1 * sin (2*pi*f1*t) + A2 * sin (2*pi*f2*t);
```

```

        U_clear10 = A1 * sin (2*pi*f1*t) + A2 * sin (2*pi*f2*t);
    case 3
        t_3 = t - fix (t * f1) / f1;
        if t_3 < Tau
            U_clear = A1;
        else
            U_clear = 0;
        end
    case 4
        U_clear = (A2 + A2 * sin (2*pi*f2*t)) * A1 * sin (2*pi*f1*t);
    end
    U = U_clear + A_noise * randn(1);

    U_grad = min (max (U, U_min), U_max);
    U_grad = U;%fix ((U_grad-U_min) / (U_max-U_min) * N_grad) / N_grad *
    (U_max-U_min) + U_min;

    % Заполняем входной буфер
    Buf_in(i_buf_in) = U;
    Buf_in_grad(i_buf_in) = U_grad;

    % Копируем входной буфер в расчетный
    i_cop_clc = 0;
    while i_cop_clc < N_buf_clc
        i_cop_clc = i_cop_clc + 1;
        i_cop_in = i_buf_in + i_cop_clc;
        if i_cop_in > N_buf_in
            i_cop_in = i_cop_in - N_buf_in;

```

```

end

Buf_clc(i_cop_clc, 2) = Buf_in(i_cop_in);
Buf_clc_grad(i_cop_clc, 2) = Buf_in_grad(i_cop_in);
end

% Когда входной буфер заполнен...
if ~Buf_empty
    if NeedDraw == 1000
        NeedDraw = -1;
    end
    NeedDraw = NeedDraw + 1;

    % Считаем БПФ для сигнала
    Y = fft (Buf_clc(:,2), N_buf_clc) / N_buf_clc;
    Y_grad = fft (Buf_clc_grad(:,2), N_buf_clc) / N_buf_clc;
    f_spec = f_q / 2 * linspace (0, 1, N_buf_clc/2 + 1);

    % Считаем спектр сигнала
    for i_S = 2:N_S
        S (i_S) = (N_smooth - 1) / N_smooth * S (i_S) + 1 / N_smooth *
U * exp (-1i * 2*pi*f_S(i_S) * t);% * t_q;
    end

    % Постоянная составляющая
    S (1) = (N_smooth - 1) / N_smooth * S (1) + 1 / N_smooth * U;% *
t_q;

```

```

S_out = abs (S);
S_out = S_out / max (S_out);
S_out = 20 * log10 (S_out);

if NeedDraw == 0
    % Выводим содержимое расчетного буфера
    figure (1);
    %subplot (2, 1, 1);
    set(0,'DefaultAxesFontname', 'Times New Roman');
    set(0,'DefaultAxesFontSize',14);
    plot (Buf_clc(:,1)*1000, Buf_clc(:,2), 'k.-', 'LineWidth', 1); hold
off;

    %stairs (Buf_clc(:,1), Buf_clc_grad(:,2), 'b.-', 'LineWidth', 2);

hold off;

    grid on; %hold on;
    xlabel ('Время, мс');
    ylabel ('Сигнал, В');
    %legend ('Тестовый сигнал');%, 'Квантованный сигнал');

    xlim ([-0.2 0.2]);%(X_disp*1.03 / 4 * 1000);
    ylim ([-2.05 2.05]);

    figure (2);
    %subplot (2, 1, 2);
    set(0,'DefaultAxesFontname', 'Times New Roman');
    set(0,'DefaultAxesFontSize',14);
    plot (f_S/1000, S_out, 'k.-'); grid on; hold off;

```

```

        if Type_Sign == 3
            plot (f_S/1000, S_3(1:N_S), 'r--', 'LineWidth', 2); grid on;
hold off;

        end
        xlabel('Частота, кГц');
        ylabel('Модуль спектра, дБ');
        %legend ('Спектр', 'Огибающая спектра');
        xlim ([f_n_0/1000 - 0.2 f_v/1000]);
        xlim ([0.1 50]);
        % ylim ([-0.01 1.1]);
    end
end

i_q = i_q + 1;
end

```